

国际信息工程先进技术译丛



自组织网络：GSM，UMTS和LTE的自规划、自优化和自愈合

Self-Organizing Networks: Self-Planning, Self-Optimization and Self-Healing for GSM, UMTS and LTE

（西） Juan Ramiro
（美） Khalid Hamied 编著
吕召彪 彭木根 潘三明 李勇 等译







机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

国际信息工程先进技术译丛

自组织网络：GSM，UMTS和LTE的自规划、自优化和自愈合

（西）Juan Ramiro
（美）Khalid Hamied 编著
吕召彪 彭木根 潘三明 李 勇 等译



机 械 工 业 出 版 社

本书针对多无线接入网共存的异构无线网络环境，详细介绍了网络自组织（SON）的计算原理、协议结构、功能流程、关键技术、算法设计、性能结果和组网应用等。主要包括：多无线接入网的SON、异构无线网络自配置、自优化、自愈合等。

本书可供从事无线通信的专业技术人员、管理人员，特别是从事SON标准化和先进关键技术研究、无线网络设计、下一代宽带移动通信系统技术研究的人员，以及学习无线通信系统的大专院校相关专业师生阅读参考。

图书在版编目（CIP）数据

自组织网络：GSM，UMTS和LTE的自规划、自优化和自愈合/（西）拉米罗（Ramiro，J.），（美）哈米德（Hamied，K.）编著；吕召彪等译．—北京：机械工业出版社，2012.12

（国际信息工程先进技术译丛）

书名原文：Self-Organizing Networks: Self-Planning, Self-Optimization and Self-Healing for GSM, UMTS and LTE

ISBN 978-7-111-40347-0

Ⅰ.①自… Ⅱ.①拉…②哈…③吕… Ⅲ.①无线电通信-移动网-自组织系统 Ⅳ.①TN929.5

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第265551号

机械工业出版社（北京市百万庄大街22号 邮政编码100037）
策划编辑：张俊红 责任编辑：顾 谦 版式设计：霍永明
责任校对：陈立辉 责任印制：乔 宇
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2013年2月第1版第1次印刷
169mm×239mm・17印张・340千字
0 001—2 500册
标准书号：ISBN 978-7-111-40347-0
定价：78.00元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
社服务中心：(010)88361066	教材网：http://www.cmpedu.com
销售一部：(010)68326294	机工官网：http://www.cmpbook.com
销售二部：(010)88379649	机工官博：http://weibo.com/cmp1952
读者购书热线：(010)88379203	**封面无防伪标均为盗版**

译 者 序

新一代宽带蜂窝移动通信系统（IMT-Advanced）无论是在技术和网络结构上，还是在业务支撑和服务环境上，都和传统的蜂窝结构有很大的不同，具有以下特征：①将采用多输入多输出（MIMO）、无线中继、小区间干扰协调等先进技术为各种多媒体分组业务提供高达1Gbit/s的传输速率，并且能够有效保证小区边缘用户的性能；②为了减少传输时延等，采用扁平化网络结构，使得基站间必须采用协调方式进行相应的无线资源管理操作；③为了满足室内高速和绿色通信要求，采用家庭基站等异构技术增强室内组网；④2G、3G以及3G增强和IMT-Advanced等多种无线接入系统共存，为了实现各系统的平滑切换且减少异构系统间的各种模式干扰，将需要采用网络融合协作和干扰协调技术有效提高网络整体性能；⑤提高IMT-Advanced应急通信能力，实现便捷灵动的高效组网。这些特征和技术需求使得传统蜂窝移动通信系统的网络规划、网络优化和网络管理方法和流程不再高效，需要具有自动学习能力的智能化网络规划优化及管理方法，增强网络的健壮性和鲁棒性，同时提高网络的传输性能。

将网络自组织（SON）引入IMT-Advanced系统的主要目的是满足以上的特征和技术需求，提高网络的自组织能力，实现网络自配置（self-configuration）、网络自优化（self-optimization）和网络自愈合（self-healing），并且增强传统的网络规划、优化和管理，以适应新一代宽带移动通信系统的需求。网络自配置目标是尽量减少网络规划和网络管理的人工参与，降低网络建设和维护成本，期望基站能够自动发现建立邻区关系，能自动配置每个小区的识别号（ID），并使配置的结果满足网络工作的要求。网络自优化是通过监测网络性能指标的变化和一些异常事件的发生，来发现网络参数配置不合适的或者设备故障的情况；通过自动调整基站相关参数来达到减少干扰、优化网络性能的目的；与无线资源管理算法不同，SON的自优化考虑的不是单个小区的性能，而是一个（局部）网络的性能，目标是使局部网络的整体性能得到改善。网络自愈合是指由于基站或其他服务节点的故障，使得小区内部局部区域或整个小区的覆盖或容量出现严重损失时，通过对故障进行检测、定位、补偿、恢复，来缩短网络故障持续时间，加速网络恢复正常工作状态的技术手段。

目前3GPP和IEEE 802.16都展开了对SON的标准化研究工作，主要是针对3G或者3G长期演进系统（LTE）的SON进行标准化工作。3GPP和我国的CCSA将陆续开展对IMT-Advanced的SON标准化工作。本书主要针对多无线接入网络共

存时带来资源池的扩大、载波资源的增加、调度等控制节点数量膨胀等，详细介绍了相应的自配置、自优化、自愈合等先进技术，包括它们的原理、协议设计、流程方法、算法性能等。

本书由吕召彪、彭木根、潘三明、李勇、魏垚、江甲沫、闵世军、陈华、李雪娜、刘恋、李玥、喻晶洁、张洪岩、孙成丹、宋磊、胡荣贻、程奥林等翻译。本书的翻译工作受国家科技重大专项新一代宽带无线移动通信网课题“IMT-Advanced自组网（SON）关键技术研发”（编号2011ZX03003-002-01）的资助，在此特别表示感谢。在本书的翻译过程中，我们还得到了中国移动通信集团公司、中国联通研究院、大唐移动通信集团、工业与信息产业部电信研究院等单位的大力支持，它们提供了许多宝贵建议和有益帮助，在此表示诚挚的谢意。

由于IMT-Advanced系统的SON研究和标准化工作还在进一步深入，本书主要侧重介绍了多无线接入网的网络自组织技术，而针对家庭基站、无线中继等无线分层异构覆盖场景下的网络自组织技术是未来发展方向，本书对此涉及较少，所以本书的内容希望能起到抛砖引玉的作用，让大家来共同完善和推进SON技术的发展。再加上译者水平有限，谬误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

原　书　序

在当今的各种通信技术中，消费者对于移动宽带技术的接受速度是最快的。我们已经明显感觉到，智能手机技术的广泛应用和接受速度，比因特网和前几代的移动通信技术更快。平板电脑、安卓设备、苹果手机、应用商店、社交媒体以及用户与云端数据的交互，都在以飞快的速度发展，而运营商（我们消费者）也极力跟进步伐。作为一个行业，需要竭力提供全世界各地人们期望的必要的传输带宽和容量。

第四代 LTE 网络为消费者提供值得信赖的消费体验。我生活在瑞典斯德哥尔摩，自运营商 TeliaSonera 开始布置 LTE/4G 网络后，我就一直在使用 LTE 应用。这是第一个投入商业运营的 LTE 网络，我十分荣幸能参与其中。作为一个 4G 用户，无论在世界的哪个角落，我发现我已逐渐习惯使用最佳的无线连接进行无线通信。这对于 3G/2G 网络用户也是一样的。根据我的消费经验，最佳的无线连接对消费者来说是非常重要的，而且像多数消费用户期望的一样，最佳无线连接最好能够是无缝工作。

2G/3G 演进到 LTE 需要重点考虑的问题是这些多无线标准进行重叠覆盖时如何进行运维操作、如何满足运营商减少运维费用的需求。大多数运营商必须保持它们的 OPEX 在一个恒定水平，甚至有时需要以更低的运维成本而同时提高它们的服务和数据传输能力。许多先进的技术，包括机器对机器（m2m）服务，对成本是极其敏感的，如果成本超过了预设的门限值，不能无限制地任意使用，也不能充分发挥一些先进技术的潜力。上面所述的要求和特征是非常明晰的，为此我们必须考虑这些进行相应的技术选择和设计。

密集化是网络的一个新特征，更小型化的小区和异构网络（HetNets）技术正迅速发展。我们可以预测，这些正在发生的变化会带来更多的无线标准和多运营商共存的局面。面对非线性增长和多因素联合决定的密集化无线场景，需要采用高效的运维方法。惟一可以高效的、可人为控制的、高性价比的克服这些挑战的方法是使用更多的自动化技术或自治系统，如网络自组织（SON），而这也正是这本书介绍的内容。

我们正迎来巨大的机会。我们正在大力创新，为个人、企业和社会造福。本书只是其中的一部分，希望能够提供一个研讨的初始平台。完全可以相信，还有相当多的工作有待进行。

Ulf Ewaldsson

爱立信公司无线部门副总裁

瑞典斯德哥尔摩

原书前言

本书针对2G、3G和长期演进（LTE）系统深入描述了多无线制式的网络自组织（SON）技术，并给出了SON功能的关键内容描述。多无线制式的SON允许运营商彻底改变和简化它们的运维模式，在所有无线接入技术中都可以进行SON扩展，从而进行节省成本的智能运维。针对多无线制式共存场景，好的SON解决方法是一种更全面、更系统和更强大的优化策略。

本书专门献给那些负责移动网络管理或优化的工程师，网络运营商、商界领袖和科研学术专家也能从本书的相关章节受益。随着LTE的展开，大多数运营商将同时管理三个无线接入网络，这将给它们已经很紧张的成本开销增加额外的压力。部署和运维蜂窝网络是一个复杂的任务，包括许多工作，如规划、测量、安装、测试、运行前优化、运行后优化、综合性能监测、故障缓解、差错校正和一般性维护等。目前这类活动都是劳动密集型的，所以依靠人力进行网络部署和运维是昂贵且易出错的，这还会引发客户的不满意甚至用户退网等事件的增多。

为了缓解这种情况，下一代移动网络（NGMN）联盟已经发布明确要求，健全LTE网络自组织功能，使LTE等新网络在规划、部署、优化及维护时，确保人为干预尽量少。与此同时，在E-UTRAN第三代合作项目标准化（3GPP）进程中正在对这种新的网络管理技术进行标准化，定义具体的功能、接口和过程。

面对多无线技术和多无线运营商共存的无线环境，本书的目的是介绍SON在工程和实践方面的最新成果，每一章都经过精心组织。通过这些章节的学习，读者能够全面且有层次地理解SON的发展和部署，深入掌握如何逐步优化蜂窝网络的性能和最大化效率。

本书的布局结构如下。第1章论述了移动宽带爆炸性增长的挑战，分析了可能的解决方案，并介绍了SON技术在2G/3G网络的应用方案。第2章高度概括了涵盖NGMN和3GPP下的SON技术。期望对3GPP定义的SON有更全面了解的读者建议直接参考本章涉及的3GPP参考资料，在这些3GPP参考资料中有SON的最新标准进展的相关内容描述。第3章主要描述了多无线制式的SON结构体系，提出了一个具有协调功能的SON整体概念框架。

第4~6章涵盖了多无线网络厂商和多无线技术的自规划、自优化和自愈合内容，包括这些内容的流程、算法和使用的技术。无线网络管理或优化方面的工程师（例如运营商的工程师和顾问）可能对这些章节的内容非常感兴趣。

第7章介绍了一种针对SON功能和使用案例的投资回报率（ROI）模型。该

模型可以运用到业务建立中，并可提供ROI的优化分析。运营者和供应商的相关技术经理、主管人员和销售人员会对第7章的内容感兴趣。

附录A讨论了UMTS的地理定位技术，介绍关于地理定位观察时间差（OTD）的使用和应用。附录B概述了LTE X-map估计和针对一个给定场景的两种不同方法的详细仿真结果。附录C给出了本书常用的缩略语。

目　录

第1章 运营移动宽带网络

Ken Stewart、Juan Ramiro 和 Khalid Hamied

1.1 移动业务增长的挑战

移动蜂窝网络性能的优化和效率的最大化，长期以来一直是无线网络供应商追求的目标。自从20世纪80年代后期引入GSM以来，首个2G和3G无线网络的业务（和每用户的收益）的增长一直都很显著，且未来还有很好的发展也可预见。对移动通信网络来说，语音和信息服务，包括短信息服务（SMS）和多媒体信息（彩信）服务（MMS），正占据着主流。然而，在21世纪的第一个十年里，高性能广域无线分组数据网络的发展，例如3GPP HSPA和3GPP2 HRPD，由于融合了数字信号处理（DSP）能力，具有多媒体资源编码、流媒体协议和低功耗的高分辨率显示器的优势，能够更好地支持智能手机。实际上，智能手机已经从根本上改变了无线宽带网络的业务增长趋势。

2010年6月，尼尔森（Nielsen）公司年度报告[1]（见图1.1）中提到智能手机平均数据消费2010年第一季度比2009年第一季度增长230%。尼尔森公司进一步报道，一些用户每个月总数据业务的使用量接近2GB，而智能手机前6%的用户数据使用接近总数据带宽的50%。因此，随着越来越多的用户会效仿那些高端用户的各种流行应用，每个用户的数据消费预计将进一步增长。最重要的是，从未来增长趋势看，尼尔森公司估计智能手机在美国市场的普及率只有23%。事实上，在这些用户中，几乎1/4的人使用的数据业务量为零，而1/3根本没有订制过数据业务套餐。这预示着潜在的数据连接需求巨大，无线网络也只是刚刚开始受到智能手机引起的业务量攻击。

尼尔森公司的数据统计基本与主要的网络运营商报道的情况一致，对于用户数据消费水平的分布情况更是相同。例如，在2010年6月，美国电话电报（AT&T）公司在报告[2]中提到，尽管AT&T公司的智能手机使用不活跃的用户至少占65%，平均每月数据量不超过200MB，但数据量使用最高的2%用户则超过了2GB。

尽管AT&T公司并未对未来的无线网络业务增长给出评论，但其他公司（例如思科系统）已经做了相关工作[3]。思科公司认为，2010～2014年，无线移动网络总业务增长（见图1.2）的复合年增长率（CAGR）将达到每年增长100%，其中视频业务占总业务的2/3之多。换句话说，按年率计算，至少到2015年，网络的

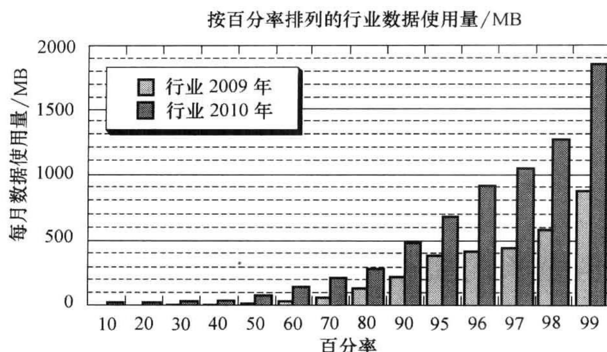


图 1.1 2009 年和 2010 年智能手机的每月数据使用量分布图
（2010 年尼尔森公司授权使用）

总数据业务量将会翻倍。这表明，与 2009 年相比，如果不解决数据带宽受限或频带不足等诸如此类的问题，到 2015 年，网络总业务量将增加 64 倍。

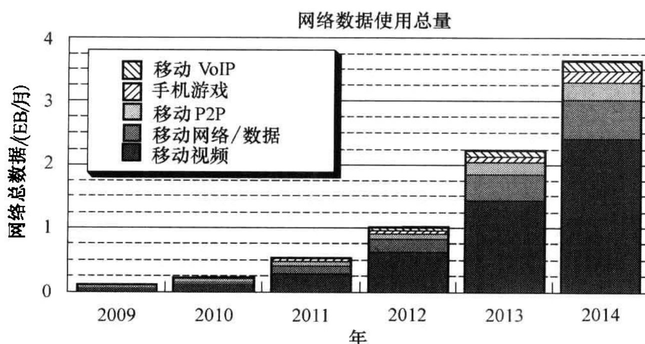


图 1.2 无线移动网络总业务增长分布图
（2010 年思科 VNI 移动允许转载）

1.1.1 智能手机之间的差异

那些配备智能手机的用户，他们的数据使用量也相差悬殊。每台设备产生的数据量受许多因素的影响，包括用户界面、可用的应用程序（受操作系统普及程度影响）、用户数据规划、数据链接推送服务的配置和在线激活技术等。然而，我们有可能根据每一台设备测量到的数据使用偏好的基础上获得普遍的趋势。例如，在 2010 年尼尔森公司给出的数据中显示（见图 1.3），连同 Palm Pre 在内，市场占主导的摩托罗拉 Droid 手机和苹果 iPhone 3GS 手机都产生了非常巨大的数据量，这与每种平台所支持的丰富体验有关。用户使用这些设备平均每月约产生 400MB 的数

据业务量，这远远超过了总体每月每设备约 90MB 的平均水平，甚至超过了智能手机平均每月 240MB 的业务量。

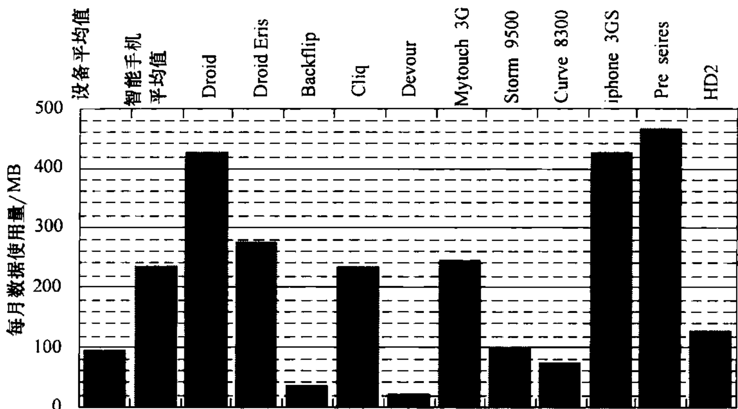


图 1.3 不同类型智能手机的每月数据使用量
（经 2010 年尼尔森公司许可转载）

图 1.3 进一步指出，智能手机设备的核心功能对数据消费也很重要。表 1.1 列举了部分 2009 年 10 月上线的有影响力的智能手机设备的某几项功能，其中包括了图 1.3 中最重要的一部分设备。摩托罗拉 Droid 手机与 Cliq 手机设备的比较，体现出应用处理器、屏幕分辨率和多媒体功能逐步增强的趋势，也正是这些导致了每台设备用户数据量的差异（见图 1.3）。

表 1.1 目前智能手机的功能

设备	屏幕		应用程序处理器	RAM，闪存，最大 μSD	相机	网络连接
	尺寸	分辨率				
摩托罗拉 Cliq	3.1in[①]	480×320	Qualcomm MSM7200 528MHz	256MB，512MB，32GB	5MP	UMTS-HSPA，EDGE，802.11b/g
摩托罗拉 Droid	3.7in	480×854	TI OMAP 3430 600MHz	256MB，512MB，32GB	5MP	1xRTT，DO-A，802.11b/g
摩托罗拉 Droid 2	3.7in	480×854	TI OMAP 3620 1GHz	512MB，8GB，32GB	5MP	CDMA 1x，DO-A，802.11b/g/n
摩托罗拉 Droid X	4.3in	480×854	TI OMAP 3630 1GHz	512MB，8GB，32GB	8MP	CDMA 1x，DO-A，802.11b/g/n
苹果 iPhone 3GS	3.5in	480×320	Samsung ARM	256MB，16/32GB，N/A	3MP	UMTS-HSPA，EDGE，802.11b/g

（续）

设备	屏幕		应用程序处理器	RAM，闪存，最大 μSD	相机	网络连接
	尺寸	分辨率				
苹果 iPhone 4	3.5in	960×640	Samsung ARM	512MB，32GB，N/A	5MP	UMTS-HSPA，EDGE，802.11b/g/n
HTC Droid Eris	3.2in	480×340	Qualcomm MSM7600 528MHz	288MB，512MB，32GB	5MP	1xRTT，DO-A，802.11b/g
HTC HD2	4.3in	480×800	Qualcomm Snapdragon 1 GHz	448MB，512MB，32GB	5MP	UMTS-HSPA，EDGE，802.11b/g

① 1in＝0.0254m。

注：来源：摩托罗拉公司2010年数据。

除摩托罗拉公司外的其他厂商比如苹果和HTC，也有着明显相同的总体趋势（见表1.1）。值得注意的是，表1.1中涉及的设备上线的时间间隔相对较短，大约只有两年。

1.1.2　推动数据业务——流媒体和其他服务

流媒体服务的出现，比如Pandora和YouTube上提供的那些服务，对设备数据消费有着重大的影响。

网络音频流（网络广播）的使用，以及MPEG第三代声音文件压缩格式（MP3）、Windows媒体音频（WMA）、Flash视频（FLY）或即时播音系统格式，使用的协议比如实时传输协议（RTP）、实时流媒体协议（RTSP）、即时消息传递协议（RTMP）、用户数据报协议（UDP）和超文本传输协议（HTTP），自20世纪90年代末期开始，已经在有线的互联网上逐步发展和应用。自2005年以来，尽管不断加强对流媒体版权的限制力度，但像Pandora、XM在线电台的订阅服务这种流媒体服务的出现，还是进一步增加了这种服务类型的人气。

无线传输速率取决于服务类型、服务器/客户模式的应对策略和订阅策略，典型音频流媒体服务的数据传输速率范围为56～192kbit/s，满足每个用户的消费业务量约为25～85MB/h。通过观测发现，用户调用音频流服务，然后在执行其他进程的同时，将该服务作为背景音乐长时间开启（通常持续几小时），这种行为对于数据消费有着显著的影响。

视频流媒体服务是网络负载的另一个主要来源。众所周知，这类服务包括YouTube、Hulu、TV.com等。YouTube作为这类服务的一个典型例子，一般采用FLY或MP4，加上MPEG-4 AVC（H.264）的视频编码和使用预先音频编码（AAC）的立体音频编码。典型的服务速率为85～500kbit/s（即38～220MB/h），

同时限制总持续时间（如 10min）和大小（如 2GB），这取决于上传的源内容实体和流媒体服务提供商之间的关系。

最近，由于智能手机植入丰富的功能，上述服务也可以用于无线互联网中。正是由于这个原因，无线通信网络必须承载与这些数据服务相关的巨大数据量，这造成现有无线基础设施的压力越来越大。

1.2 容量和覆盖的短缺

移动数据业务日益增长，在 1.1 节中提到，预计至 2015 年，网络总业务量将比现在增加 64 倍。移动宽带的这种爆炸性增长对无线通信网络和传输支撑设施提出了更高的要求。最显而易见的要求就是在满足所需的服务质量（QoS）的同时，提供巨大的容量扩充和必要的覆盖扩展。

一般来说，如果网络运营商能通过适当地收费，以及提供足够的网络容量来应对的话，业务量增长就是有益的。值得注意的是，无论如何，在容量扩充的同时，运营商的资本支出（CAPEX）和运营成本（OPEX）预算有限，而每个用户的平均收入（ARPU）增长也是饱和的。

下面将对可行性技术方案，以及帮助无线运营商应对网络业务快速增长挑战的解决方法做一个概述。

1.3 迎接挑战——网络运营商的工具包

幸运的是，网络运营商有大量可用的技术来应对移动数据增长所带来的挑战。首先，通过调整资费结构，运营商可以利用经济层面上的激励来改变用户的使用习惯。另外一个方法是通过部署更高级的无线接入技术（RAT）（例如 3GPP LTE）来提升网络容量。这种方法和与之有关的重要资本开支，往往和新频谱收购结合在一起。随着新型网元（例如微蜂窝或家庭基站）的初步部署，最近人们对于 WiFi 联合组网和负载转移技术的兴趣有所增长。协议设计和业务成型方法的优化，与先进的信源编码技术的一道使用，最近已经变得非常流行。最后，编写这本书的最主要目的在于，人们对现有无线网络资源的优化以及将网络自组织（SON）扩大到 2G 和 3G 系统有很大的兴趣。这个最新的技术在提高相对较低的资本和运营投资方面有额外的吸引力。

1.3.1 资费结构

随着智能手机的普及，不限量的数据计划时代可能即将结束。比如，在 2010 年 6 月，AT&T 公司宣布[2]了两个限量的数据计划：DataPlus 和 DataPro。在 AT&T

公司DataPlus计划中，用户每月花费15美元可获得总共200MB的数据流量，而且在订单周期内再花费15美元可获得额外的200MB的数据。在相应的DataPro计划中，25美元的基础费用可获得2GB的数据，而且在订单周期内再花费10美元可获得额外的1GB的数据。新的苹果iPad用户会被映射到AT&T DataPro计划中，而以前的不限量计划被淘汰。

当然，AT&T公司并不是惟一采用这种方法的公司，在其他网络和地理区域中都可以见到类似的趋势。比如，在2010年6月，O_2公司宣布[4]新用户和升级的用户会被映射到一种选择的数据计划上，根据选定的数据绑定产品，用户每月花费25~60英镑，数据计划将提供给用户500MB~1GB的数据流量，还有大约10英镑每GB的额外可用数据。然而，值得注意的是，在亚洲，数据限量计划扩张一段时期后，对于像SK公司这样的电信运营商而言，至少在一定时间内，需要重建不限量数据计划，这将带来竞争压力[5]。

限量数据计划一般适用于所有由网络传输的业务。然而，由于技术或商业的原因，在网络运营商寻找来自或到达某些互联网协议（IP）地址和端口号的限制特定业务流的过程中，可能会产生新的机遇，比如包括流媒体业务或其他数据密集型业务源所使用的端口。另外，网络运营商可能会寻找来自特定应用的限制业务，或者与竞争提供商进行的实际业务交换可以被限制或映射到低等级的QoS。这些方法都会受到严格的监管审查。例如，在美国，2010年4月联邦法院对所谓网络中立性[6]的判决可能会鼓励网络运营商花更多的精力介入业务流，但是进一步的立法和监管规范也是很有可能的。

1.3.2 高级无线接入技术

与节能的外场部署不同的是，对于网络运营商和设备供应商来说，能否转移到频谱效率较高的网络RAT上，很大程度上取决于现有的保证和与之兼容的传统技术。如图1.4所示，图中显示了广域RAT从GSM、CDMA和IEEE 802.16d的底层到HSPA+、LTE、EV-DO和WiMAX各自的演变过程。正如图中所示，随着4G网络的部署，围绕宽带无线的战略格局正在变得简化。例如目前，EV-DO技术家族已经限制了EV-DO版本B（DOB）和EV-DO版本C（DO-C）演进的广泛部署的前景，因此，虽然EV-DO技术还将使用很多年，但除非有一些战略格局的转变，EV-DO的演进最终将会终止。同样，随着在3GPP中为了支持美国2.5GHz频段的LTE部署工作的展开，对WiMAX2.0进一步的承诺可能会被限制，即使在印度3G和宽带无线接入（BWA）频谱拍卖之后，印度运营商对WiMAX和LTE时分双工模式的Q3-2010提供了承诺，WiMAX的长远未来还是不确定。

所有这一切似乎将3GPP LTE［包括时分双工（TDD）和频分双工（FDD）］

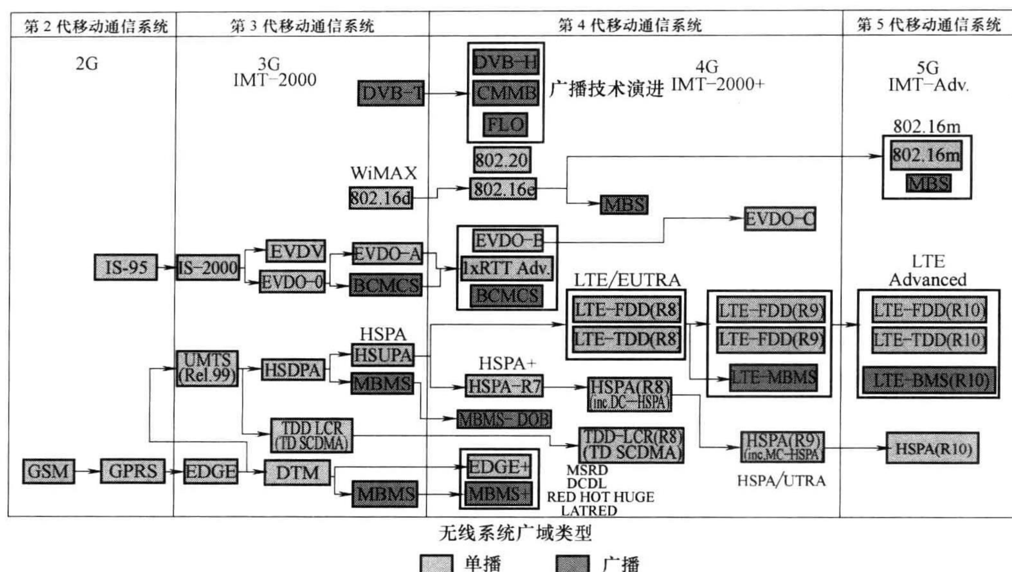


图 1.4 广域网无线接入技术演进（经2010年摩托罗拉公司允许转载）

和3GPP HSPA+定位成未来十年内关键的广域网无线接入技术，特别是IMT-Advanced的发展，将使该区域性技术方案跻身未来最主流的标准化进程的行列。

进一步关注HSPA+和LTE，我们首先应该注意到目前并没有对HSPA+的正式定义。由于作为与3GPP高速下行分组接入（HSDPA）Rlease 5配套的协议规范，高速上行分组接入（High Speed Uplink Packet Access，HSUPA）协议规范已经在3GPP Release 6中完成，把支持3GPP Release 7～Release 9的一个或多个HSPA特征的网络和设备归类为HSPA+是合理的。然而，实事求是地讲，除去由连续性分组连接（CPC）为层2提供的相对较小的效率提升和器件功耗增强，Release 7所提供的HSPA+增强主要是下行双流多输入多输出（MIMO）和64正交振幅调制（QAM）（详见表1.2），从而导致Release 7可以支持超过10Mbit/s的峰值传输速率。值得注意的是，由于基础设施和传统设备均衡器的限制，支持MIMO的HSPA+网络和设备的部署似乎越来越不现实，这使得64-QAM成为Release 7 HSPA+主要增强的部分。

表1.3给出了一个10MHz LTE Release 8网络和一个HSPA+网络频谱效率的比较。在这里，Release 8 HSPA+双载波功能已被HSPA+标准采纳，以允许和相同的10MHz FDD LTE的直接比较。从结果可以看出，随着双流接收器（在表1.3中记为1×2：一个发射基站天线和两个提供接收分集的手机天线）的部署，HSPA+网络的性能足以媲美LTE的网络性能。

表1.2 HSPA+和LTE演进——设备性能小结

功能支持			3GPP HSPA			3GPP LTE		
功能	单位	Sub-Func.	Rel-7	Rel-8	Rel-9	Rel-8	Rel-9	Rel-10 (LTE-A)
成员载波	MHz	DL	5	5	5	{1.4,3,5,10,15,20}	{1.4,3,5,10,15,20}	{1.4,3,5,10,15,20}
带宽		UL	5	5	5	{1.4,3,5,10,15,20}	{1.4,3,5,10,15,20}	{1.4,3,5,10,15,20}
多载波	#Carriers	DL	1	2	2(Non-Adj.)	1	1	5
		UL	1	1	2(Adj.)	1	1	2
链路带宽	MHz	DL	5	10	10	20	20	100
		UL	5	5	10	20	20	40
最大调制	N/A	DL	64-QAM	64-QAM	64-QAM	64-QAM	64-QAM	64-QAM
		UL	16-QAM	16-QAM	16-QAM	16-QAM	16-QAM	64-QAM
MIMO	#Streams/Carrier	DL	2	2	2	4	4	8
		UL	1	1	1	1	1	4
最大数据传输速率（终端性能）	Mbit/s	DL	28.0 (Cat. 16,18)	42.2 (Cat. 20)	84.4 (Cat. 28)	10.3,51,102,151,302	10.3,51,102,151,302	10～1000
		UL	5.7 (Cat-6, 2ms)	11.5 (Cat-7, 2ms)	11.5 (Cat-7, 2ms)	5.2, 25.5, 51,75	5.2,25.5, 51,75	5～200
广播和多播		N/A	MBMS	MBSFN, DOB	MBSFN, DOB	N/A	EMBMS	EMBMS+

注：来源：摩托罗拉公司2010年数据。

表1.3 HSPA+和LTE频谱效率的比较

部署场景		下行链路频谱效率/(bit/s/Hz/cell)			
		HSDPA 1×2		LTE 1×2	LTE 2×2
信道：TU 3 km/h	RAKE	MMSE	MMSE R×Div	MMSE R×Div	MMSE R×Div
市区宏蜂窝：500m基站间隔距离	0.30	0.59	1.09	1.23	1.83
市区宏蜂窝：1700m基站间隔距离	0.29	0.58	1.05	1.3	1.75
热点：100m基站间隔距离	0.30	2.42	N/A	3.3	6.53

注：来源：摩托罗拉公司2010年数据。

这很好地描述了如今很多3G运营商的战略——在符合LTE设备完备和成本竞争力的情况下，寻求尽早部署LTE的同时，运营商执行选定的HSPA基础设施升

级，包括关键的回程容量单元，支持 HSPA + 并因此支持高达 21Mbit/s（HSDPA Category14）或更高的速率。在这里，值得注意的是，在 2015 年之前（见图 1.5），支持至少一个 LTE 频带的设备总装机数量并不是移动终端设备的重要组成，不到 20% 的比率。因此，我们可以做出这样的合理假设：数据业务转移到更高性能的广域无线接入技术将是渐进的，大部分全球业务终端可能直到 2010 ~ 2020 年年底才具有支持 LTE 制式的能力。

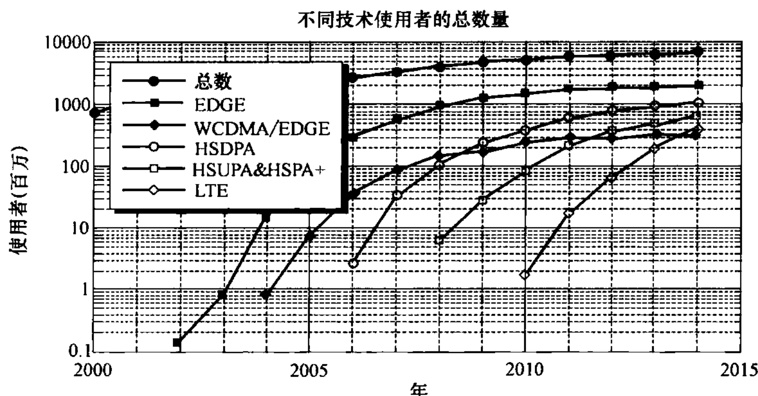


图 1.5 不同年份使用者终端设备数量（经 2010 年 Strategy Analytics 公司允许转载）

1.3.3 家庭基站

现今网络结构中的一个重要组成部分就是在企业或室内环境部署家庭基站。符合传统宏观蜂窝核心规格的家庭基站部署是完全可行的，几个基本的改进已经被 3GPP 和其他标准制定机构（包括 WiMAX 论坛和 Femto 论坛）确定。在 3GPP 中，这包括已被授权访问限制性家庭基站的闭群用户组（CSGS）的定义；在无线资源管理进程中轻松识别家庭基站的方法（例如，通过特定 CSG 同步序列）；使切换到 CSG 家庭基站的设备更可靠的增强切换操作。本地 IP 接入（LIPA）到本地网络资源的上层支持已被添加到 3GPP Release10 中。然而，尽管存在巨大的潜力，室内家庭基站（比如 Vodafone 的 Sure Signal 或者 AT&T's Femtocell 品牌）的推出，从管理和减少网络负载的角度来看影响力尚为有限。更确切地说，到目前为止，家庭基站营销仅强调有限覆盖网络接入语音业务能力的提高。因此，到目前为止，由于运营商在任何情况下所需的核心授权频谱的有限使用和复用，在 2012 ~ 2013 年家庭基站不可能在减少网络负载方面做出重大的贡献。

1.3.4 新频谱的收购和激活

在国际电信联盟（ITU）所有下属的三个地区中，移动服务新频谱的鉴定、清

除和激活以及现有频谱的高效利用都是需要接受监管机构严格的审查。

在国际电信联盟区域 2（美洲），2010 年 3 月，作为国家宽带计划（NBP）[8] 的一部分，美国宣布到 2020 年对于移动宽带服务有 500MHz 额外可用频谱，到 2015 年再增加 300MHz。其中的资源包括一个在 2.3GHz 的无线通信服务（WCS）频段的 20MHz 分配，来自 2008 年 700MHz 拍卖所余下的 10MHz（Block D）频谱的处理，联邦通信委员会（FCC）73 号竞拍，和另外 60MHz 的频谱——包括高级无线服务（AWS）频段（通常在 1755～2200MHz 范围内）。此外，另有 L 和 S 波段的 90MHz 移动卫星服务（MSS）频谱将会在辅助地面组成（ATC）的规范下得到使用（支持陆地宽带服务的设备也必须支持卫星组件）。也许最重要的是重新分配广播频段，使运营商的移动服务能使用这额外的 120MHz 频谱成为可能。

在国际电信联盟区域 1（欧洲、非洲和中东地区），在引领新频谱部署方面也有重要举措。比如 2008～2010 年由挪威、瑞典、芬兰、德国、荷兰和丹麦进行的在 2.6GHz 频段（一般来说，符合由 ECC/DEC（05）05 欧洲管理机构所设想频带结构）中 190MHz 频谱的拍卖，预计在 2010 年或 2011 年其他欧洲国家也会加入。然而，最重要的也许是 2010 年 5 月主要集中在位于 800MHz 和 2.6GHz 频带的 360MHz 频谱的德国拍卖，对于 Vodafone、T-Mobile 和 O_2 公司在 800MHz 频带各产生 2×10MHz 频谱，再加上 Vodafone（2×20MHz FDD，25MHz TDD）、T-Mobile（2×20MHz FDD，5MHz TDD）、O_2（2×20MHz FDD，10MHz TDD）和 E-Plus（2×10MHz FDD，10MHz TDD）2.6GHz 频段的奖励。

在国际电信联盟区域 3（亚洲），类似的变化也已经发生。比如在中国，700MHz 移动运营（698～806MHz）的频带提案包括以下选项：非对称频谱（即 TDD 模式）下整个频段的分配、对称模式（FDD，698～746MHz）和非对称模式（TDD，746～806MHz）之间分配的拆分。但是，在 2015 年之前发布这个频谱是不可能的。在中国，对于新频谱更直接的机会包括在 2300～2400MHz 频带可用的 100MHz 频谱，加上在 2.6GHz 频带（2500～2690MHz）高达 190MHz 的频谱。在这些频带中，2300～2400MHz 的频谱早在 2002 年就被指定给 TDD 系统使用，并且已经在 2010 年上海世博会成功用于 LTE-TDD 试验。然而，与其他系统共存的担忧可能会限制该频带未来在室内使用的部署，这导致人们对 2.6GHz 频带的兴趣增加，其中有一种与欧洲和美国的 2.6GHz 频带计划接轨的完全 TDD 模式系统已经在研究中。虽然规模较小，对于上述频谱，类似的部署频谱的承诺已经在印度出现，这导致了最近印度对 3G 和 BWA 频谱进行拍卖。

显然，新频谱的收购为提高网络容量提供了一个重大的机遇。然而，值得注意的是，收购的频谱可以是资本密集型的。例如，德国 2010 年 5 月拍卖产生了 43 亿欧元的总成交金额。此外，激活新的频谱会涉及重新定位用户和服务的成本，并且要在新频谱激活的地点提供额外的无线硬件和传输回程。所有这一切都表明，虽然

新授权的频谱是解决网络容量不足的一个关键方法，但是一般而言，它是一个昂贵的选择，只能在中长期部署的基础上使用。

1.3.5 同伴网络、负载转移和业务管理

新授权频谱的成本重新引起人们对由未授权频谱产生更大的兴趣，比如美国 2.4GHz 行业、科学和医疗（ISM）频段、5GHz 的国家信息基础设施（NII）频段和 700MHz 电视空白空间频段。现在许多主要的网络运营商从 WiFi 网络服务集成器中租用访问 WiFi（其中一个或多个独特的 WiFi 热点网络聚集在一个单一的品牌上，并使用一套单一的访问凭据访问），或者是运营公共 WiFi 热点网络，作为运营商主要广域宽带网络的对应网络合作品牌。通常身份验证协议，如无线互联网服务提供商漫游（WISPr）与有线等效保密（WEP）或更加频繁的 WiFi 保护访问（WPA）和 WiFi 保护访问 2（WPA2）身份验证方法（使用存储在设备上的由用户或运营商提供的证书或基于 UICC[㊀] 证书）结合在一起应用。值得注意的是，作为更广泛的广域数据计划中的一个组成部分，接入这样的 WiFi 网络正在逐渐免除收取额外的费用。

当下几乎所有的智能手机都支持 WiFi 连接。这允许运营商将不断增长的数据业务中很大的一部分从他们主要的广域网络负载转移到他们的 WiFi 网络上。撇开随之而来的 WiFi 网络上负载的增长和由此产生的干扰，因为在这里仍然有一些障碍之外还存在一些挑战。首先，允许具有 WiFi 接口的终端持续连接到 WiFi AP 上会导致设备电流提升、消耗和减少电池寿命，由此产生用户体验满意度下降。其次，虽然在交通和社区中心布置热点（如机场、咖啡厅等），运营商热点网络的空间密度往往不能在一个连续的基础上提供充分的业务覆盖范围。例如，在芝加哥郊区，与一个 3G 网络有关的 WiFi 热点之间的空间距离大约是 4km，这大约是对应 3G 网络站间距的两倍，因此限制了可以方便接入到一个热点的机会。最后，一些运营商的服务，比如运营商品牌邮件或媒体服务，在这里所指的是运营商品牌服务（CBS），必须在一个可信的基础上接入运营商的核心网络，以便执行身份验证功能。

使用适当的功耗管理技术可以解决电池寿命低的问题。WiFi 热点的低空间密度意味着许多甚至大部分 WiFi 连接将会在用户的家中或企业中建立。这就提出了这些网络能力[㊁]的问题。通过个性测量技术[㊂]可以得到问题的答案。表 1.4 显示了摩托罗拉公司在 2010 年第二季度进行的一个公共 WiFi 接入点（AP）信标调查的结果摘要。由表中可以看出，虽然超过 90% 的公共 WiFi 接入点符合 IEEE 802.11g

㊀ 通用集成电路卡。

㊁ 比如，对 IEEE 802.11b 或 IEEE 802.11n 的支持、支持的传输速率、安全支持（如果有）的类型等。

㊂ 这项调查是通过只检查在所有非隐藏 WiFi 接入点传输的 IEEE 802.11 管理帧中的系统信息进行的。

修正案，但是仍有少部分 IEEE 802.11n 接入点是在调查的同时部署的。值得注意的是，大多数接入点是部署在 2.4GHz ISM 频带中可用的 83MHz 频谱上的，这样出于实际的目的，最多可以支持 3 个无重叠的 20MHz IEEE 802.11 载波。过去几乎没有接入点是在 5GHz 带宽上运营的，至少在美国，总共提供了 550MHz 的频谱，这表明随着智能手机越来越多地支持 5GHz 的 WiFi 接入，这种网络负载转移的方法很有发展前景。

表 1.4　公共 WiFi 接入点调查摘要（2010 年第二季度）

AP 模式	%	频带	%	带宽 %	IEEE 802.11 类型	%	安全模式	%
AdHoC	3	2.4GHz	98	20MHz 95	b	7	开放	20
基础设施	97	5GHz	2	40MHz 5	g	78	WEP	37
					n	15	WPA	24
							WPA2	19

注：来源：摩托罗拉公司 2010 年数据。

最后，在授信基础上访问运营商核心网络方面的困难可以通过使用适当的路由和隧道技术来解决。有几种方法来实现这一点，其中之一如图 1.6 所示，设备同步维护广域网（即 3G/4G）和 WiFi 连接。这使得大部分非 CBS 数据可以在 WiFi 连接上传输，而 CBS 的数据访问可能会在担保的广域网络上出现。这种方法的演进如图 1.7 所示。在这个架构中，运营商已经设立了更多的网络边缘路由器，将源于非安全 WiFi 网络设备的安全隧道终止。因此，随着在互联网上剩余业务的终止，更多的 CBS 特殊业务可能会通过非安全的 WiFi 连接进入运营商核心网络。

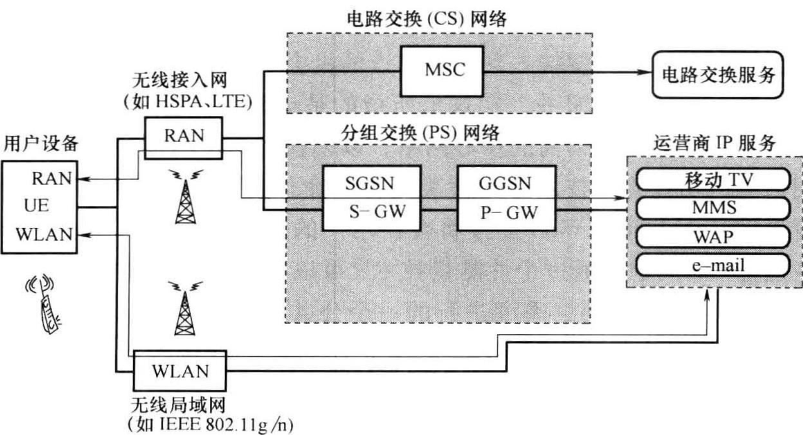


图 1.6　负载转移样式——类型 1（经 2010 年摩托罗拉公司允许转载）

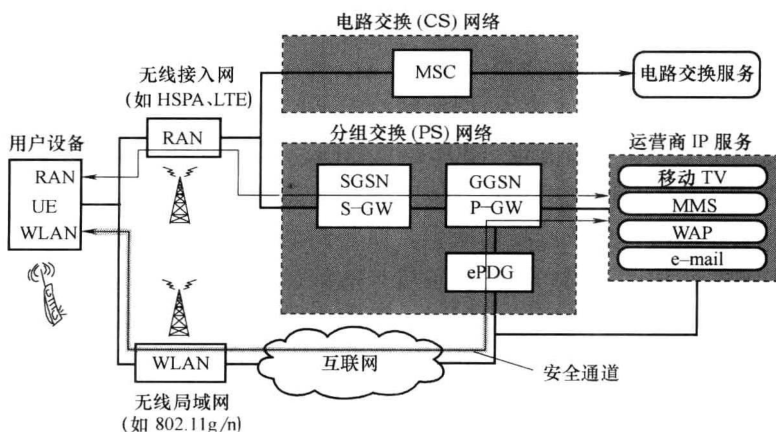


图 1.7　负载转移样式——类型 2（经 2010 年摩托罗拉公司允许转载）

1.3.6　高级的信源编码

新的信源编码方法也为网络效率的改善提供了空间。传统意义上，人们已经研究了在蜂窝系统中将语音编码效率作为信源编码性能的测量基准。然而尽管 CDMA 增强型多速率语音算法（EVRC）向 EVRC-C 演进，CDMA 运营商向 LTE 的迁移似乎可能使 EVRC 的演进终止。与此同时，改进语音质量的需求表明某些 3G 运营商，尤其是 T-Mobile 国际公司和法国电信/Orange，现在正进行从已经建立的 3GPP 指定自适应多速率窄带（AMR-NB）语音编码器（包括 200Hz ~ 3.5kHz 的音频范围）到演进的 AMR 宽带（AMR-WB/G.722.2）语音编码器（50Hz ~ 7.0kHz）的转移。这相应带来了比特率从 5.9 ~ 12.2kbit/s（AMR-NB）到不低于 12.65 kbit/s（AMR-WB）的增长。

幸运的是，最近国际电信联盟电信标准化组织（ITU-T）SG-6[9] 关于 G.718 语音编码器（可以维持与 AMR-WB 的比特流兼容性）的工作表明，通过使用 8kbit/s 的 G.718 编码有可能实现与原来 12.65kbit/s 的 AMR-WB 编码相同的质量标准，这就是 3GPP 增强型语音服务（EVS）工作[10] 的动力所在。然而，值得注意的是，3GPP EVS 规范不太可能在 2011 年前完成，也不太可能在 2012 年之前投入运营。因此从中期发展来看，在 2012 年以前语音信源编的码率不会减少，反而可能会因为 AMR-WB 的部署而增加。

当在 32 ~ 64kbit/s 范围内运营时，G.718 和 EVS 编码解码器的性能会与由国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）指定的 AAC 编解码器的性能起冲突，特别是 AAC 低延迟（AAC-LD）和 AAC 增强型低延时（AAC-ELD）演进。然而，运营商最近的评估显示，专有解码器比如 SiLK（Skype）或 Speex 运行的效率

很低，这些解码器都没有提供优于 G. 718 或新兴 EVS 规范的效率。对于中、高速率的音频编码的应用（即在 32 ~256kbit/s 范围的比特率），如摩托罗拉 Droid X 或苹果 iPhone 的智能手机可以使用 MP3、AAC 和 AAC + 格式的编解码器。在 ISO/IEC 或 3GPP 的成果中，几乎没有证据能证明这些音频编码率会使效率在短期内得到明显改善。相反，朝着超宽带（50Hz ~ 14kHz）和全宽带（20Hz ~ 20kHz）发展的编解码器，以及广域网支持环绕立体声的潜在趋势表明，在未来十年内改善音频源编码将不会导致网络负载的显著减少，而是侧重质量提高和增强服务。

但是很显然，从上面提到的业务量增长的信息来看，更高效的编码视频业务将会对网络总负载产生更大的影响。同样，短期内显著改善的机会有限。这主要是由于 ITU/ISO/IEC MPEG-4 AVC/H. 264 视频编解码器性能的改进逐渐放缓（见图 1. 8）。

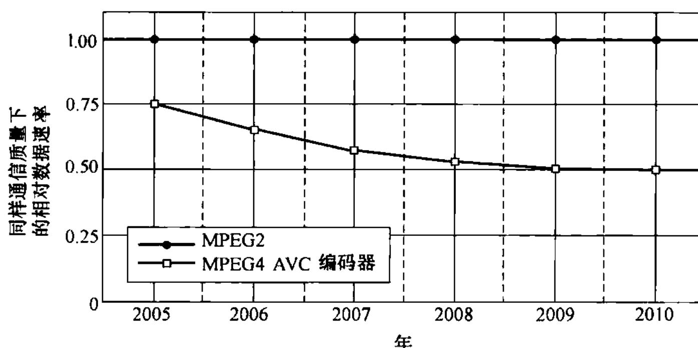


图 1. 8　MPEG-4 和 MPEG-2 质量（随时间变化，来源：2010 年摩托罗拉公司数据）

最重要的是，虽然人们清楚地认识到视频编码效率的进一步改善是必不可少的，这显然需要一段时间才能实现。例如，ISO/IEC 的 MPEG 和 ITU-T 的视频编码专家组（VCEG）建立了视频编码（JCT-VC）的联合协作团队，以提供一个高效率的视频编码（HEVC/H. 265）规范[13]，目的是在相同或是更低的计算复杂度的情况下获得大概两倍的编码效率的提升。然而，由于该规范完成的时间被定在 2012 年第 3 季度，对 HEVC 初步提案的主观评价于 2010 年 3 月才开始[14]。这意味着完全兼容的 HEYC 编解码器广泛部署的日期最早将在 2013 年。

与此同时，AVC/H. 264-enabled 的 3D 视频的问世将推动流速率达到更高的水平。此外，与 3D 视频无关的智能手机和融合计算或平板设备（例如 iPad）的屏幕分辨率和渲染能力继续增加。例如，于 2010 年 7 月推出的摩托罗拉 Droid X 智能手机提供了一个 4. 3in（10. 9cm）宽的视频图形阵列（WVGA 标准）（480 ×854）显示，还有高清晰度多媒体接口（HDMI）端口和呈现 720p AVC/H. 264 内容的能力。相应的，聚合计算能力的苹果 iPad（2010 年 4 月推出）提供了支持 1024 ×768 分

辨率的 9.7in（24.6cm）显示屏，AVC/H.264 视频达到 720p 格式，30 帧/s。

因此，随着这样设备进一步渗透到无线宽带市场和视频编码效率的彻底改善，运营商将继续向更有效利用现有编解码技术的（如 AVC/H.264）[15]方向改造网络服务器。许多组织致力于流媒体技术过程的发展，其中包括：微软公司的 Smooth Streaming、苹果公司的 HTTP 实时流媒体（HLS）和标准化方法、正在尝试中的 IPTV 开放论坛（OIPF）和 3GPP[16]。不过，虽然这些方法将提高视频率的适应性（以更好地适应信道条件或接入技术），并且高效发挥着作用，但它们并不会从根本上降低视频业务的增长，尽管可能会在特定数据传输速率的限制下提供维持足够视频质量的增强手段。

1.4 网络自组织

迄今为止所有讨论过的扩容技术都是有效的，运营商需要依靠它们以应付不断增长的业务量和客户需求（在服务质量和服务成本方面）。然而，现今可用的技术明显涉及移动通信的基础设施投资，因此在考虑网络扩展或演进之前，值得考虑一下目前的基础设施是否正在以最大性能运行着。

我们回到基础层面，重要的是铭记通用移动通信系统（UMTS）是一项在覆盖范围、容量和服务质量等诸多方面相互紧密关联的复杂技术。就网络层而言，有很多可优化的地方没有被涉及，不同小区采用相同设置，在最好的情况下也只是进行一些微调。尽管 UMTS 网络当前至少可以提供可接受的关键性能指标（KPI），仅通过仔细调整每个小区的参数设置，网络的容量还有上升的空间。

在每个扇区（甚至或是每一个邻区）的维度上提出自适应网络优化的想法是 SON 范例的一部分，它已经根据下一代移动网络联盟（NGMN）[17]制定的明确要求而被定义。提出 SON 的目的是允许一套 LTE 网络自动化完成自组织功能，以便在网络规划、部署、优化和维护过程中使人工干预达到最小。随后，在 3GPP 通用陆地无线接入网络演进（E-UTRAN）标准化的过程中，对这种新型网络管理模式的支持正在转化为具体的功能、接口和程序。

SON 使用案例可以用不同方式来构造。具体将会在第 2 章讨论。最基本的一个分类如下：

1）自规划：开始设置一个新节点，包括站点的位置和硬件配置规格的选择，但不包括站点收购和准备。

2）自部署：准备、安装、验证并提供了一个新的网络节点的状态报告。它包括将一个新的节点投入商业运营的所有进程，但不包括自规划（产生自动部署需要的输入信息）阶段的操作。

3）自优化：利用由用户设备（UE）和基站收集的度量和性能指标以自动调

整网络设置。这个过程是在运行状态执行的，被定义为射频（RF）接口商业化激活（即当小区没有被禁止或预留）的状态。

4）自愈合：保持网络的运行，防止出现破坏性问题的日常维护。这包括必要的软件和硬件升级或更换。

虽然目前的商业和标准化工作主要集中在 LTE 网络的引入和自组织技术上，但是将自规划、自优化和自愈合的范围扩展到 GSM/GPRS/EDGE 和 UMTS/HSPA 的无线接入技术中去也有着很重要的价值。多无线制式的 SON 的影响是巨大的，一方面，采用多无线接入技术可以允许运营商对其操作进行彻底转变和简化，不仅可以把一个创新的、自动化的方法应用于新兴的 LTE 网络中，还可以把自组织带来的运营成本的节约渗透到其他所有无线接入技术中去，从而协调整个网络的管理方式，提高运营效率。另一方面，适用于多接入技术的 SON 解决方案会促使更综合、更全面和更强大的优化策略的产生。

实践经验表明，在当前的 UMTS 基础设施上应用 3G SON 技术，可以在没有进行任何资本支出扩张的条件下产生 50% 的容量增益。

1.5 小结和本书结构

总之，随着智能手机的持续增长，目前人们对于提高现代宽带网络的效率和能力有一个明确的需求。幸运的是，对于运营商来说可供选择的种类很多，范围从网络技术的演进，如改进回程和使用增强 RAT 等（如 HSPA + 和 LTE），到新频谱的收购，对伴随网络的负载转移，再到高级源编码的应用。

然而同样明确的是，没有任何单一方法能解决网络业务指数增长所造成的挑战。带有批判的眼光来看，在 1.3 节中讨论的要么是资本密集型方法（如新的频谱收购或网络部署），要么是与延长的时间跨度（如新的信源编码技术突破）有关，或两者皆有。因此，SON 的技术和功能将发挥独特的作用，它们能够以中等至较低的成本在当代 2G 和 3G 网络中部署，在极低或根本没有延时的情况下提高运营效率。SON 技术必然将会继续演进以支持 LTE 系统。

本书的主要目的是描述 2G、3G 和 LTE 系统多无线制式的 SON，包括支持多厂商和多无线制式无线基础设施的网络自组织的最佳实践部署。本书将主要从技术角度解决，但也涉及一些关键的商业内容，如提出的 SON 功能和用例的投资回报率（ROI）。图 1.9 提供了统观本书内容的框架图。第 2 章概述了 SON 范例，涵盖了 NGMN、3GPP 研究组织的成果。第 3 章涉及 SON 的多无线制式方面，从主要的技术到支持多厂商的分层架构。第 4 ~ 6 章分别介绍了无线网络中自规划、自优化和自愈合的多厂商和多无线制式（2G、3G 和 LTE）等方面。最后，第 7 章所呈现的是和商业相关的内容，如提出的 SON 功能，以及 SON 用例的投资回报率。

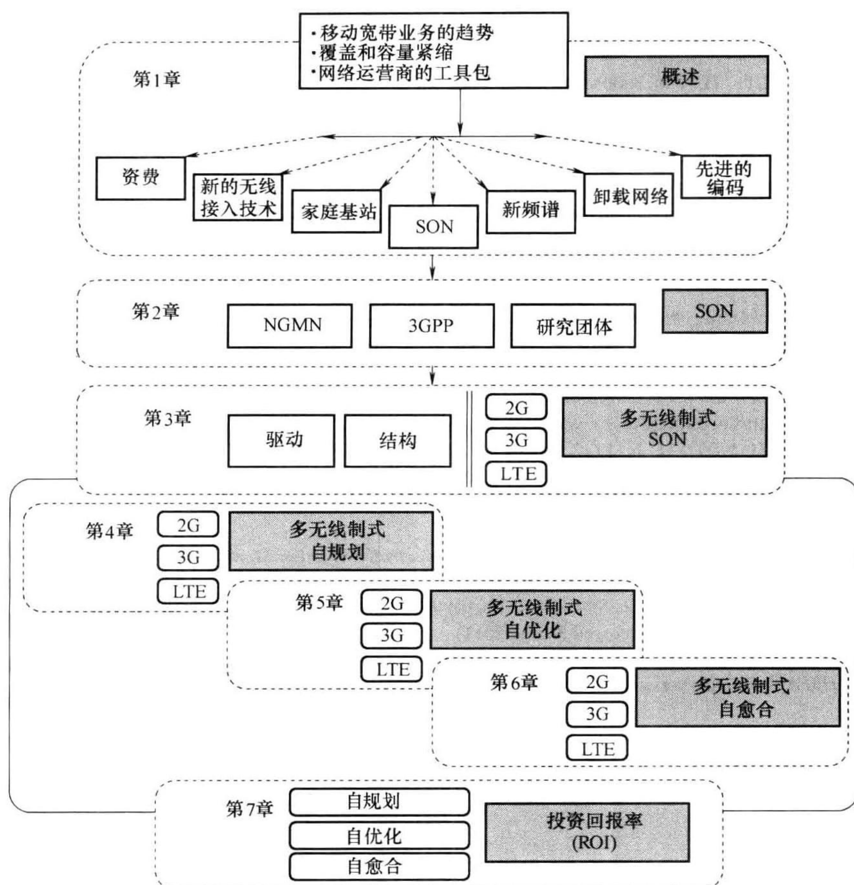


图 1.9 本书结构

参考文献

[1] The Nielsen Company (2010) *Quantifying the Mobile Data Tsunami and its Implications*, 30 June 2010, http://blog.nielsen.com (accessed 3 June 2011).

[2] AT&T Press Release (2010) *AT&T Announces New Lower-Priced Wireless Data Plans to Make Mobile Internet More Affordable to More People*, 2 June 2010, http://www.att.com (accessed 3 June 2011).

[3] Cisco (2010) *Cisco Visual Networking Index: Global Mobile Data Traffic Forecast Update 2009–2014*, 9 February 2010, http://www.cisco.com (accessed 3 June 2011).

[4] O2 Press Release (2010) *O2 Introduces New Mobile Data Pricing Model*, 10 June 2010, http://mediacentre.o2.co.uk (accessed 3 June 2011).

[5] SK Telecom Press Release (2010) *SK Telecom Unveils Innovative Measures to Boost Customer Benefits*, 14 July 2010, http://www.sktelecom.com (accessed 3 June 2011).

[6] US Court of Appeals Ruling, District of Columbia (2010) *Comcast vs. US FCC*, 6 April 2010, http://pacer.cadc.uscourts.gov/common/opinions/201004/08-1291-1238302.pdf (accessed 3 June 2011).
[7] 3GPP, RAN Plenary Meeting #49, RP-100701 (2010) *Draft Report of 3GPP TSG RAN Meeting #48*, Section 10.4.9 LTE TDD in 2600MHz for US (Region 2), 1–4 June 2010, www.3gpp.org (accessed 3 June 2011).
[8] U.S. National Broadband Plan, http://www.broadband.gov/ (accessed 3 June 2011).
[9] ITU-T SG-16, TD 164 (PLEN/16) (2009) *Draft New Technical Paper GSTP-GVBR 'Performance of ITU-T G.718'*, 26 October - 6 November 2009, Geneva.
[10] 3GPP, Technical Report, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Study of Use Cases and Requirements for Enhanced Voice Codecs for the Evolved Packet System (EPS)*, 3GPP TR 22.813 Version 10.0.0, Release 10, 1 April 2010 http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/22_series/22.813/22813-a00.zip (3 June 2011).
[11] 3GPP, SA WG4 Meeting #59, S4-100479 (2010) *Listening Tests Concerning Reference Codecs for EVS*, 21–24 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/tsg_sa/WG4_CODEC/TSGS4_59/Docs/S4-100479.zip (accessed 3 June 2011).
[12] 3GPP, Technical Report, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Study on Surround Sound Codec Extension for PSS and MBMS*, 3GPP TR 26.950 Version 1.3.2, Release 10, 27 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/26_series/26.950/26950-132.zip (accessed 3 June 2011).
[13] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, N11112 (2010) *Terms of Reference of the Joint Collaborative Team on Video Coding Standard Development*, 22 January 2010, Kyoto, Japan.
[14] ITU-T Q6/16, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, VCEG-AM91 (2010) *Joint Call for Proposals on Video Compression Technology*, 22 January 2010, Kyoto, Japan.
[15] AT&T, CTIA (2010) *AT&T's Rinne Campaigns for Spectrally Efficient Mobile Video*, 24 March 2010, http://www.fiercewireless.com (accessed 3 June 2011).
[16] 3GPP, SA Plenary Meeting #47, SP-100032 (2010) *HTTP-Based Streaming and Download Services*, 22–25 March 2010, www.3gpp.org (accessed 3 June 2011).
[17] Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance, White Paper (2006) *Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO*, Version 3.0, December 2006, www.ngmn.org (accessed 3 June 2011).

第2章 SON协议规范

Frank Lehser、Juan Ramiro、Miguel A. Regueira Caumel、
Khalid Hamied 和 Salvador Pedraza

2.1 NGMN驱动和目标[㊀]

长期演进（LTE）系统的主要驱动因素在于其复杂度和成本都将降低，原因在于随着LTE的部署，新的网络无需额外的运维成本就可和原有蜂窝移动通信系统共存。因此，对运营商来说，引入这种能将运维成本（OPEX）最小化的智能化组网功能意义重大，同时，随着无线蜂窝网络服务对象和支撑业务等性质的变化，运营商可以动态调整系统配置，提高网络性能。从这个角度上说，为了保持或者提高终端用户性能，需要利用先进的技术来实现较大的发射功率与增加的成本效率之间的平衡，同时还需要简化并提高网络运维能力。

部署和运维蜂窝网络的任务十分艰巨，包括很多工作，例如规划、设计、部署、检测、启动前优化、启动后优化、综合性能监管、故障减缓、故障纠正和日常维护等。目前这些工作都需要大量的人力来完成，所以人力成本巨大还容易发生差错，这些有可能导致顾客不满意和网络性能的不稳定。

图2.1描述了系统向高自动化和高运维效率发展的自然趋势[1]。可以看出，这种趋势和无线蜂窝系统的演进是并行的。过去，系统最初部署过程中需要大量的运维人力，随着系统精细程度的提高，以及更多网络智能化组网功能的定义和使用，人工运维成本逐渐减少。

下一代移动网络（NGMN）联盟[㊁]是由多个运营商发起创建的组织，它提供运营商在2010后十年内的运营需求，补充并支持标准化工作。在其他的文献和结论中可以看出，NGMN认为，对人工运维操作的过度依赖是一个严重的亟待解决的问题，如何提高运维效率是关键目标。通常情况下，运营商的需求是与NGMN白皮书“Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO”一致的[2]。

在NGMN定义和启动的不同项目和方案中，针对网络自组织（SON）的项目

㊀ 本节大部分内容来源于NGMN联盟的文件，已获得NGMN有限公司授权许可。

㊁ 2010年8月，NGMN联盟成员包括18个移动网络运营商（会员）、37个供应商和制造商（赞助商）以及三所大学，或者说是非工业研究机构（顾问）。参见 www.ngmn.org。

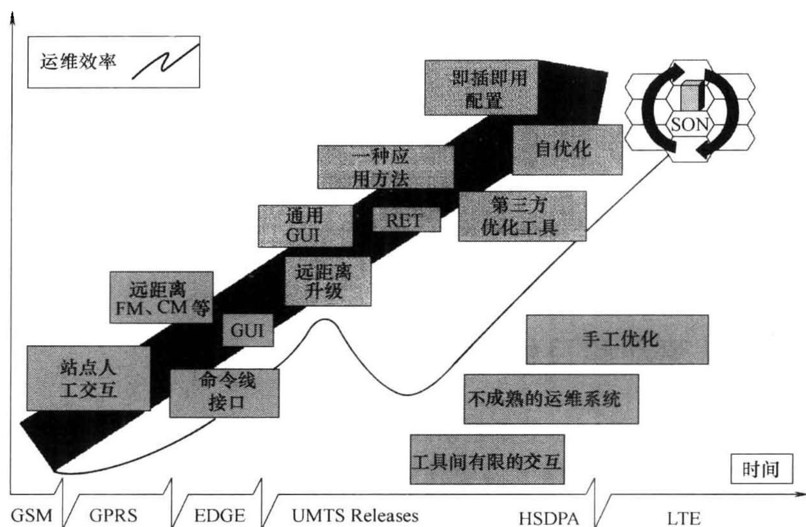


图 2.1　运维效率和时间对比（经 2010 年 NGMN 论坛授权）

于 2006 年启动。它的主要目的是确保在第三代合作项目（3GPP）组织和运维（O&M）的标准中，以及其他类似的组织或者标准团队设计的标准中，将运营商的需求考虑在内，最终达到自动运营的目标，例如规划、配置、优化和治愈[2]。在定义 SON 用例的同时，也致力于开放 O&M 接口的定义，促进形成一个真正的多供应商系统。

经过不同阶段的研究，SON 相关的项目成果发表了一系列描述 SON 用例的文章，这为推动 SON 解决方案的发展提供了很大支持。这些成果对 3GPP 工作起到了重要影响，例如在最小化路测（MDT）[3]、节能（ES）[4]、切换优化[5]、自动邻区关系（ANR）管理[6]和负载均衡[5]领域都起到了重要的推动作用，另外 SON 课题成果对电信管理（TeleManagement，TM）论坛[7]类似的其他标准化组织也产生了影响。

2.2　SON 用例㊀

2.2.1　用例分类

正如图 2.2 中总结的，现已提出不同的 SON 用例分类方案。由于不同的分类方式之间缺乏官方统一的命名和定义方式，本书其余部分均采用图 2.2 中第四列的分类方式。如图所示，自配置的分类正如参考文献［8］中定义的，被分为两类，

㊀ 本节大部分内容基于引用 NGMN 联盟的文件。已获得 NGMN 有限公司许可转载。

可参考参考文献 [2] 和 [9]，这样做的目的是把部署过程（自部署）中要求的实际即插即用特性和新节点的规划参数值的来源（自规划）区分开来。另外，在参考文献 [8] 中引入了自愈合概念，包括故障管理、故障纠正、O&M 的相关分类，也就是包括了问题的检测、纠正/消除以及促进实现最小化中断的平滑系统功能。该概念已被 3GPP 采用[10]，但并不是很符合实际，由于某些场景下自愈合功能只能指出存在的问题（以及可能的故障原因），然而无需用户干预的系统立即恢复仍是不可实现的。不过本书中即将讨论到，在某些情况下，系统可以自动设计并实现可以减轻某些问题的临时解决方法，这部分内容集中在第 6 章。更进一步讲，像参考文献 [8] 中提出的那样，便于某些 SON 用例执行和使用的支撑功能——SON 使能器将分别单独考虑。

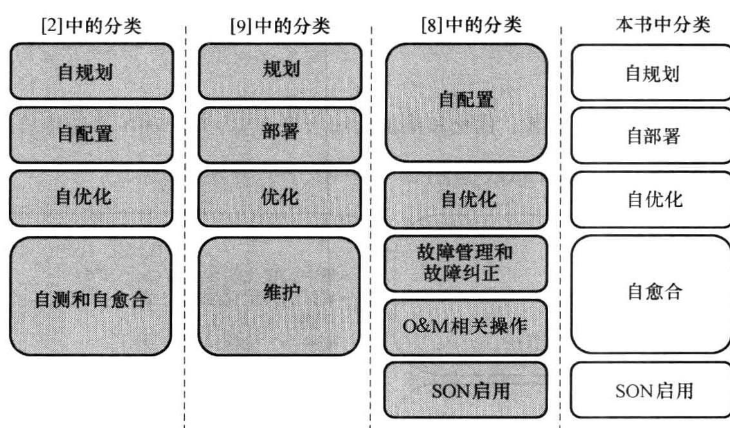


图 2.2　不同类别的 SON 用例

下面列出了本书其余章节所使用的用例的准确定义：

1）自规划：每个新网络节点的引入和设置，包括站点位置选择、硬件（HW）配置标准化，但不包括站点获取和准备。

2）自部署：每个新网络节点的准备、安装、鉴权和认证。这包括把一个新节点纳入商业运行的全部过程，但不包括在自规划类别中已经存在的、为自部署提供输入的功能。

3）自优化：利用用户设备（UE，也就是手持终端）和基站收集的测量值和性能指标自动调整网络设置。该过程在运维阶段实现，也就是说这个阶段小区既不被禁用也未被保留。

4）自愈合：执行网络运行和/或阻止出现突发问题，包括了必要的软件（SW）和 HW 更新和/或替换。

尽管没有必要把规划、部署、优化和维护看作连续的操作，为了清楚起见，图

2.3 通过简化的工作流程把这些操作以一个整体来呈现[9]。

规划(基于规划工具)
参数
如
位置
硬件类型
天线类型
传输类型
管理(基于NEM)
SW
参数
参数
优化
部署
维护
预运行状态
运行状态
(*)NEM=网元设备管理

图2.3 规划、部署、优化和维护处理（经2010年NGMN准许转载）

本章其余部分中，用例都依据图2.4中的分类方案呈现。

自规划

- 规划新节点位置(2.2.3.1节)
- 规划新节点的射频参数(2.2.3.2节)
- 规划新节点的传输参数(2.2.3.3节)
- 规划所有邻节点的数据校准(2.2.3.4节)

自部署

- HW安装(2.2.4.1节)
- 传输建立(2.2.4.2节)
- 节点鉴权(2.2.4.3节)
- 建立O&M和接入网关的安全隧道(2.2.4.4节)
- 自动存储(2.2.4.5节)
- 基站自动下载软件到节点(2.2.4.6节)
- 自测(2.2.4.7节)
- 配置家庭基站(2.2.4.8节)

SON使能器

- 标准开放北向接口(2.2.7.1节)
- 通过itf-N实时性能管理(2.2.7.2节)
- 实时连通KPI报告(2.2.7.3节)
- 用户和设备跟踪(2.2.7.4节)
- 最小化路测(2.2.7.5节)

自优化

- 集中式优化实体支持(2.2.5.1节)
- 邻区列表优化(2.2.5.2节)
- 干扰控制(2.2.5.3节)
- 切换参数优化(2.2.5.4节)
- QoS相关参数优化(2.2.5.5节)
- 负载均衡(2.2.5.6节)
- 共信道优化(2.2.5.7节)
- 在有家庭基站场景下的无线参数优化(2.2.5.8节)
- 传输参数优化(2.2.5.9节)
- 路由优化(2.2.5.10节)
- 节能(2.2.5.11节)
- 核心网的SON(2.2.5.12节)

自愈合

HW容量扩展/替换：
- HW容量扩展/替换(2.2.6.1节)

SW更新
- SW自动下载到基站上(2.2.6.2节)
- NEM自动更新(2.2.6.3节)

网络监管：
- 小区/服务中断检测(2.2.6.4节)
- PM数据自动加强(2.2.6.5节)
- 故障管理中信息纠正(2.2.6.6节)

故障恢复：
- 小区中断补偿(2.2.6.7节)
- 高级NE中断补偿(2.2.6.8节)
- 不稳定NEM系统快速恢复(2.2.6.9节)
- 消除单元中断(2.2.6.10节)

括号中专用小节()

图2.4 每个类别下的用例

2.2.2　自动处理与自主处理

能够执行不同用例的功能实体在过程中构建，这个过程可以是自主的或者自动的[9]：

1）自主操作是指无需任何人为操作，由机器完全控制操作的过程。

2）自动操作是大部分操作由机器控制，但也需要一些人为干预（例如，运营商需要激活机器特定模式，或者验证某些结果）。

2.2.3　自规划用例

如前所述，这部分对应参考文献［9］中的规划分类，如图 2.2 所示，这些用例构成了自配置中的一个子集。自规划类别包括了设置网络新节点的如下用例：站点位置选择和硬件配置的标准化，但并不包括站点的获取和准备。下面简要介绍这些用例[8,9]。

2.2.3.1　规划新基站位置以及基本特性

该用例包括规划新基站的位置，以及相关的硬件特性、传输资源、扇区数以及每个小区的基本参数（例如，天线和功率设置）。这个操作基于政策指导、业务预测、规划工具映射、可利用的测量结果、覆盖/容量目标、可用站点位置列表等，并且需要考虑到硬件/传输能力和预算的限制。

2.2.3.2　规划新基站的无线参数

该用例包括规划小区标识、功率设置、邻区列表、切换设置、随机接入信道（RACH）参数、寻呼信道（PCH）资源设置、（潜在的）分段资源分配以及其他相关的配置新基站的无线资源管理（RRM）参数。在某些情况下，此处只包括初始的规划，当系统产生实际业务量时，后续用例便属于自优化的范畴。

2.2.3.3　规划新基站的传输参数

该用例包括规划新基站的传输参数，以便在部署基站和运行传输建立之前能获得要求的信息。这意味着用来开启与其他网络实体通道的参数以及用来进一步设置网络的参数必须可用。例如，这些参数包括网络协议（IP）地址、虚拟局域网（VLAN）标识符、传输服务质量（QoS）设置等。

2.2.3.4　规划所有邻节点的数据校准

该用例负责管理新基站向所有邻节点的通知，以及相关数据库的校准。需要考虑黑白邻区列表，并且有很多可能的运营策略：完全预规划黑白列表，初始化次优化邻区列表，甚至初始化空邻区列表，也就是没有预配置任何邻区关系。需要注意的是，后两种可能性只有当 ANR 功能在合适的情况下才是可行的。

2.2.4　自部署用例

如前文所述，参考文献［8］中呈现的属于自配置范畴的用例还可以分割成两

个不同的类别，即（自）规划和（自）部署，按照这样的分类，自部署的用例包括了新网络节点的准备、安装、鉴权和状态报告的传递。换句话说，这个类中包括了把新节点投入商业运维所要求的全部过程，但对于自规划类别已经涵盖的过程除外。

下面给出了将用例以串行方式结合的一个简单例子。在硬件安装完成，并对网络和天线进行布线之后，新基站需要通过鉴权过程来发现它的网元管理（NEM）。鉴权过程完成后，可进行后续操作，例如下载相关参数和软件包，以及设置接口（S1/X2）并建立到O&M的安全通道和接入网关。在邻区基站以及相应的网关中，也可能存在某些应用，例如需要配置邻小区信息和跟踪区域。基站会进一步运行带有配置参数的自测过程，并将相关的状态报告发给网络管理实体。在下面的内容中将简要介绍这些用例[8,9]。

2.2.4.1 硬件安装

该用例包括站点准备和硬件安装，包括对所有部件（天线等）无差错的铺线和即插即用操作。需要设计硬件和部署过程，来保证安装时间控制在20min以内，并且新设备的配置可以在最小的人为干预下实施。

2.2.4.2 传输设置

基站建立一个到配置服务器的安全通道，这个安全通道发送所有的建立到O&M和相关接入节点所需要的设置信息。

2.2.4.3 节点鉴权

基站接收接入安全网关所必需的信息，在此过程后，基站获得认证，可以接入网络内部以及其他网络实体，例如NEM。

2.2.4.4 建立O&M安全通道和接入网关

该用例包括产生到O&M的安全通道和接入网关（随机密码）。这种端到端的连接必须保证双向、固定以及安全性。

2.2.4.5 自动存储

该用例包括将安装完的硬件单元配置信息和状态自动发送给存储系统，使得硬件基础情形可以综合、实时地观察。

2.2.4.6 基站自动下载软件

该用例包括自动下载新的软件包。可以在插拔模式下完成，这一过程需要包括合理的反馈机制，来考虑在更新过程中的潜在问题。这一处理不仅适用于基站部署情况，也适用于已经存在于商业维护中的基站软件的更新。基站固件也需要能完成类似的处理。

2.2.4.7 自测

该用例包括硬件和软件的自测，以验证基站是否在预期状态，并对即时的商业开发做好准备。如果基站不在预期状态，将会生成说明报告。当基站已经开始使用

时，也可使用自测技术。

2.2.4.8 配置家庭基站

安装应遵循即插即用的方法，并且最小化人工参与。这个过程需要包括从家庭基站开启到所有无线参数合理配置完成的全部操作。考虑到传输参数和配置问题，该处理过程取决于路由器是否和基站一起组装。

2.2.5 自优化用例

移动网络是动态变化的，在移动网络中需要不断地部署新站址、扩充容量、调整参数以适应本地业务量和环境条件。图2.5描述了能取得优越性能的优化处理[9]。

网络优化是一个连续的闭环处理过程，包括周期性能评估、参数优化以及优化后的参数应用于网络中的重新部署。可以由人或者计算机系统（图2.5中称作控制器）来完成这种优化决策。优化过程中的输入数据可以通过不同的途径获得，例如O&M性能测量值、O&M告警、追踪主要接口（例如，Uu、Iub和Iu等）以及联合位置信息的接口测量数据的路测技术。图2.5中，所有这些信息资源都被称为传感器，这些信息片的总和与当前系统配置在一起，输入给优化算法。优化算法能够推导出最合适的参数值，这些参数值通过执行器（例如图2.5中的O&M或者网元管理器）应用到网络中，并因此影响网络的行为，这可以看作图2.5所描述模型中的控制路径。该优化过程旨在调整参数，以便实现明确定义的目标，比如覆盖、容量、质量或者上述目标的结合，另外需要考虑这些优化操作总是包括一些隐含的权衡。优化算法随着不同实施方式的改变，并会在很大程度上受到运营商预定优化策略的影响。然而，为了促进更好的优化处理，标准中需要定义必需的测量功能和接口，尤其是在多供应商协作场景中。

不同的供应商提供不同的网络设备，优化操作更加复杂，由于在O&M系统中，不同的供应商支持不同的性能质变和测量值。因此，多供应商的情况下，网络运营商需要开发适应层来转化并协调来自不同厂商的性能测量值，这样就可以使用同一个优化平台。

下面的部分简要介绍了自优化用例[8,9]。

2.2.5.1 集中式优化实体支持

在网络管理级别上，需要利用某些机制（例如，由Itf-N表示的北向接口）以支持集中式SON架构。一般来说，这些机制主要可以分为三类：①足够全面灵活的测量值和关键性能指标（KPI）；②足够全面灵活的事件和告警；③开放机制以读取当前系统配置，并通过Itf-N进行修改。所有这些机制需要以如下方式构建：第三方供应商可以提供集中式功能，可以通过标准化完成，也可以通过开放（专有）接口实现。

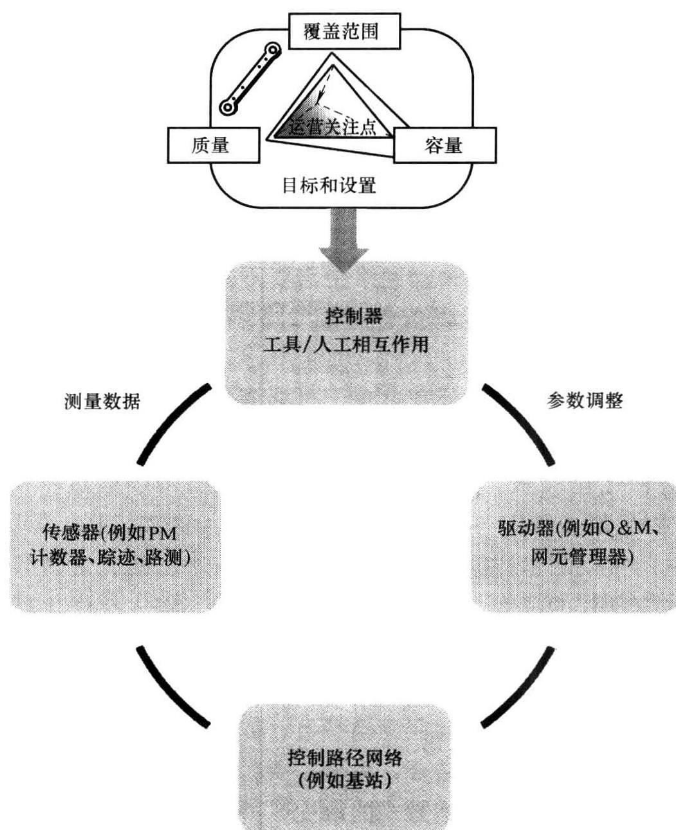


图 2.5 闭环自优化过程

2.2.5.2 邻区列表优化

该用例是关于某个小区现存的邻区列表以及其邻小区已经应用的邻区列表的优化。该用例既适用于已经处于工作环境中的小区，也适用于需要生成全新邻区列表新小区。其目标范围涵盖频域内、频域间以及系统间邻区。依据不同信息资源的评估，将逐渐产生和/或修改黑白列表。从这个方面上说，目标是最小化黑白列表的配置需求，或者自动执行该过程。

2.2.5.3 干扰控制

为了提高信号质量以及随之带来的吞吐量提升，LTE 系统需要在上行链路（控制不同扇区的物理资源块的使用）和下行链路（主要控制发送功率模式）进行干扰协调。这些过程要求某些信息元素通过 X2 接口传输，以便利于考虑了周围小区干扰情况下的包调度判决[11]。而且，相关的 RRM 功能受到指示限制、偏好、门限和周期的参数控制。由于这些参数值会影响系统性能，也需要对其进行自

优化。

2.2.5.4　切换参数优化

该用例包括实现最小运维操作的切换参数优化，以便能改善切换处理的质量（也就是减少由于过早或者过晚切换以及切换到错误小区造成的切换失效），同时最小化不希望的效应（例如乒乓切换），并且和负载均衡用例中的部分操作相互协作。

2.2.5.5　QoS 相关参数优化

该用例包括实现最小运维操作的影响 QoS 的 RRM 参数优化。这需要通过闭环方案实现，在该方案中，KPI 在实际网络中测得，并据此做出决策使系统配置和网络环境相适应，这样就能根据运营商的策略和方针取得优越的性能。在不同的业务种类下可以运用不同的策略。

2.2.5.6　负载均衡

调整切换和/或小区重选择参数，以便在负载情况下实现在扇区间分布流量，最终达到提高系统集群效率的目标，并在保持或者提高质量度量的同时增大系统容量。

2.2.5.7　公共控制信道优化

为了在可接入性和系统容量间找到正确的折中，需要对例如 RACH 这种公共控制信道资源分配进行调整。RACH 分配到的资源越多，冲突就会越少，通话建立成功率就会相应提高。然而，这同时也意味着上行链路容量的降低。

2.2.5.8　家庭基站场景下的无线参数优化

假设家庭基站和宏基站运营在同一频谱上，需要通过协作和优化来实现两者之间的干扰最小化。由于家庭基站的状况可能任意改变，动态调整尤为重要。

2.2.5.9　传输参数优化

该用例包括在实现最小化运维操作下的有关传输参数的优化。

2.2.5.10　路由优化

该用例包括在网格网络中路由数据的优化。

2.2.5.11　节能

该用例通过利用基站或者其他网络层的临时冗余，最小化能量消耗。关闭业务较少的区域中基站或小区中不用的部分（如果这些小区由其他 RAT/层小区备份），以减少能量消耗。

2.2.5.12　核心网的 SON

大多数上述提及的无线接入网领域（RAN）中的用例，可以映射到核心网中类似的应用场景中去，例如安装新的核心网节点的和优化传输的参数。

2.2.6　自愈合用例

为了进一步明确地说明，自愈合的用例可以分为以下 4 类：

1. 硬件（HW）容量扩展/更换[⊖]

在这种类别中，任何硬件单元的更新、扩展或更换都应需要尽可能少的运营商操作。

2. 软件（SW）更新[⊜]

类似地，软件更新也需要尽可能少的运营商操作，并且必须最小化任何功能的中断（包括监视丢失）。以下用例是这种类别的一部分：

1）软件自动下载到 eNodeB。

2）自动 NEM 更新。

3. 网络监控

系统必须为 RAN 性能提供足够的测量和分析，以便为进一步提高性能做出合适的决定。在这方面，需要在不增加额外复杂度的前提下支持多厂商环境，并且为了排解故障和特殊任务（如 UE 性能分析），需要支持呼叫跟踪，以下用例是这种类别的一部分：

1）小区/服务中断检测。

2）自动性能管理（PM）数据联合。

3）故障管理（FM）的信息关联。

4. 故障恢复

网元（NE）故障不应需要复杂的专家操作，以下用例是这种类别的一部分：

1）小区中断补偿（COC）。

2）高层网元的中断补偿。

3）快速恢复不稳定 NEM 系统。

4）缓解单元中断。

介绍完了上述子类，以下小节将详细描述自愈合用例。

2.2.6.1 硬件容量扩展/更换

如前面所述，任何硬件单元的更新、扩展或更换都应尽可能减少运营商操作。并且，硬件上应该允许即插即用安装，技术人员不需要特殊培训就能处理来自不同供应商的硬件。为了便于硬件扩展，系统利用率的自主监视也是这个用例的一部分。

2.2.6.2 软件自动下载到 eNodeB

与 2.2.4.6 节定义的同名用例类似，只不过将其范围从网络部署和建立扩展到了系统维护和软件更新。

⊖ 在这个小组中的一些用例也适用于自部署类，而其他的（如自动升级的）建议可能适用于自规划类别。

⊜ 硬件扩展/更换和软件升级最初由 NGNM 分类为维护使用案例[9]。

2.2.6.3　自动 NEM 更新

所有与 NEM 更新相关的活动都必须对日常运营有尽可能小的影响和破坏。这一过程以安全的方式进行，允许在更新过程中和随后特殊监视过程中的任何时刻退回到以前的配置。

2.2.6.4　小区/服务中断检测

需要一种机制，通过最少的甚至无人参与，准确可靠地探测出中断发生的小区（睡眠小区）或者服务质量差的小区。为此，系统必须综合分析所有可用资源中的信息片段并产生可靠的报告和触发潜在的自动/自主反应，来解决问题或者至少暂时缓解问题。

2.2.6.5　自动性能管理数据联合

该用例包括自动分析性能管理数据并将其综合到基站中的高级别 KPI 中。这些 KPI 将用作监视报告及自动/自主过程的输入，负责解决/缓解网络故障。

2.2.6.6　故障管理的信息关联

为了简化和（部分地）自动化故障管理，亟需产生包含问题根源和位置的清晰警告。为此，需要将尽可能多的信息源结合并在尽可能低的级别上把它们关联起来。进一步地，需要有机制来允许运营商定制产生警告的信息关联过程，并定制用于定义后续行为的逻辑，后续行为可能是自动的也可能需要人工干涉和/或支持。

2.2.6.7　小区中断补偿

检测到小区中断后，需要采取行动来解决问题，或者至少缓解问题。这个过程的目的是将系统尽可能快地恢复到正常运营状态，因此，需要极其快速，甚至接近实时恢复。当在短时间内不能自动发现问题的根源且不能应用快速、完备的解决方案时，需要在采取至少能缓解问题的临时处理措施之后发放一个故障单。另外，对任何实施的解决方案，必须执行自动确认，并报告它的结果。在所有可能的解决方案中，需要注意以下问题：对特定邻区的建立、禁止或支持，减小发送功率来调整覆盖范围并降低它的负载，周围小区的 RF/功率重调和自优化行为的触发，自优化允许新环境的全新开发直至问题的最终解决方案得到应用。此时，自动/自主过程需要正常工作，以便可以退回中断发生之前的配置。

2.2.6.8　高层网元的中断补偿

高层网元的中断［如移动管理实体（Mobility Management Entity，MME）］将由在同层的其他网元补偿。这可能单纯由中断事件触发，也可能由动态负载共享开发的资源池触发。

2.2.6.9　不稳定 NEM 系统的快速恢复

通过更新备份网元的方法快速恢复不稳定的 NEM 系统、自动接管机制、内在负载共享功能和/或高可用结构。

2.2.6.10 抑制元件中断

当网络节点的一个可替换部分（也就是一个元件）进入中断状态时，必须检测到这个状态并产生相关警报和警告。进而，自动机制必须正常工作来临时重新配置设备，这样可以尽可能减少性能的下降。热备份元件将负载分配到不同网络资源的功能可以帮助正遭受中断的网元，同时邻区网元也会受益。

2.2.7 SON 使能器

SON 使能器是使 SON 用例可执行各种功能。然而，其本身并非 SON 用例，相关的 SON 使能器在下一部分介绍[8]。

2.2.7.1 标准化的开放北向接口

NEM 和网络管理级上的操作工具之间的接口必须是开放的，这样才能简化并以更小的开销集成到第三方工具上，并且可以降低软件生产开销。

2.2.7.2 通过北向接口进行实时性能管理

支持网络监控和 SON 是有用的。除了能够在 15 ~ 30min 内监控整体统计数据，还可以在更严格的范围内近实时地（也就是，在时延 1min 左右）监控一些性能警告。而且，在可配置间隔（10s ~ 5min 范围内）内可以进行数据收集。

2.2.7.3 实时的直接 KPI 报告

对于基于性能管理计数器定义的一组 KPI 集来说，在 eNodeB 持续监测下，当这些 KPI 值满足一定条件时（例如，当某个 eNodeB 的一个 KPI 值超过运营商配置的门限时），可能启动警告。

2.2.7.4 用户和设备跟踪

应用包含以下接口的内在跟踪功能（例如，对于特定的用户或小区）：S1-MME 接口、S1-U 接口、X2 接口和 Uu 接口，必须能够在 eNodeB 本地存储这些信息，传输到其他位置，根据运营商的需要进行过滤并使其能够被第三方解决方案应用。

2.2.7.5 最小化路测

使用终端、基站和其他网络节点的内在追踪功能，并且联合追踪位置信息来减少专门的路测。对于这个用例，不同分类可以用不同目标来定义，如覆盖、容量、QoS 和移动优化（包括通用信道的参数化），另外，还有自动故障诊断用于确定和解决特定的网络问题。其主要功能是将位置信息，如小区标识、无线特征（根据时间提前量和信号强度值）、GPS 坐标与追踪性能测量数据以标准化的形式结合起来。

2.3 SON 与无线资源管理

当研究 SON 功能时，尤其是在实时自优化特征方面，可能会问及这些机制和传统 RRM 内嵌的机制到底有什么不同这样的概念性问题，因为对于实时功能来

说，两者的边界可能并不清晰。

RRM 机制负责多小区、多用户环境下频谱、功率和传输间隔的动态分配，目标是在变化的传播环境和业务情况下最大化网络性能。在这方面，网络性能包括容量、覆盖、质量和移动性。对于通用移动通信系统（UMTS），RRM 机制的实例有快速功率控制、外环功率控制、切换控制、接入/负载/阻塞控制和包调度。

另一方面，如前面所述，此处的自优化定义为，利用 UE 和基站收集的测量和性能指标，在运营状态下自动调整网络设置。

因此，最需要解释的是：RRM 机制受参数支配，而自优化功能注重动态调整参数的值，从而使系统行为适应当前的网络环境。让我们来关注一下带有两个经典 RRM 算法的 UMTS 实例：快速闭环功率控制（CLPC）和外环功率控制（OLPC），它们的定义如下[12]：

1）CLPC 负责通过闭环反馈机制控制每条链路上的传输功率，目的是在满足所有链路上的信干噪比（SINR）目标的同时使总传输功率最小化。在上行链路（UL），为了克服所谓的远近效应[13]，这个机制是必要的，在下行链路（DL），它的应用可以提高容量。

2）外环功率控制为闭环功率控制调整 SINR 目标，为了在误帧率（FER）方面将通信质量维持在目标水平。

两种机制互相紧密关联，因为外环功率控制的输出是影响闭环功率控制性能的关键参数（SINR 目标）值（见图 2.6）。

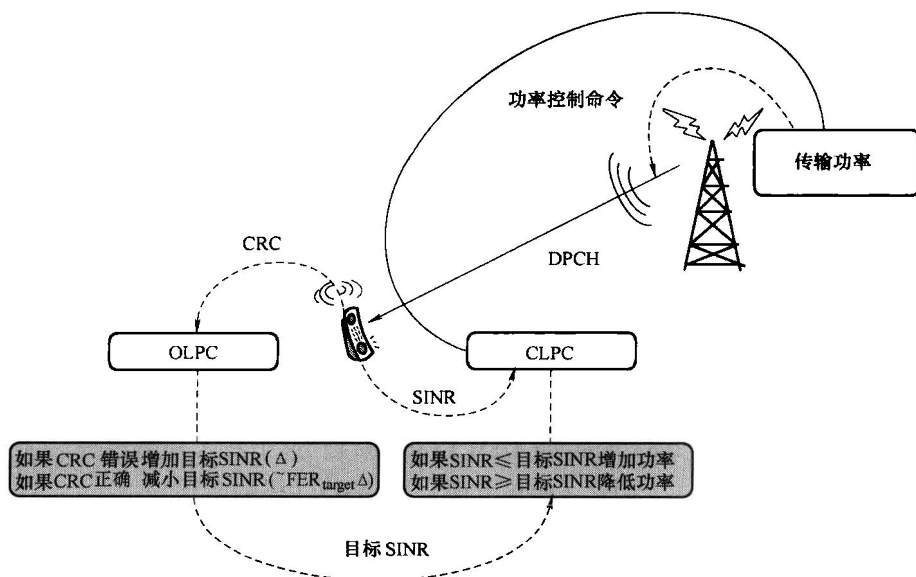


图 2.6　UMTS 例子：OLPC 与 CLPC 对比（如下行链路）

在这个方面，可以认为 OLPC 是实时自优化机制，主要用于调整影响 CLPC 的参数，目标是用最少的资源保证所需要的质量。根据这个例子，可以列出两个关键特征来区分 RRM 机制和实时自优化功能。

1）自优化算法的输出会对影响关键系统进程参数的数值产生影响［例如，UMTS 中的主公共导频信道（Common PIlot CHannel，CPICH）、LTE 中的 RACH 设置、邻区定义等］或影响负责系统资源实际分配（如用于接入控制的负载门限）的 RRM 功能。

2）影响 RRM 机制的参数通常是低级别、面向工程的参量（如功率门限、时间间隔等），而自优化功能的输入通常是高级别的、面向服务的参数（例如，对 OLPC 来说，当对 UMTS RRM 参数采用自优化时，输入是目标 FER，或容量、覆盖和质量目标的权衡，如第 5 章所述）。

2.4　3GPP 中的 SON

2.4.1　3GPP 组织

3GPP 是一个工作在国际电信联盟（ITU）范围内的联盟和标准实体，根据演进的全球移动通信系统（GSM）的标准来制定第三代（3G）和第四代（4G）规范。本组织于 1998 年 12 月通过签署 3GPP 协议[15]发起。

最初，3GPP 的工作范围是为全球 3G 蜂窝系统输出技术规范和技术报告。后来，3GPP 的工作范围扩展到包括维护和发展 GSM 技术规范和技术报告[16]。现在，3GPP 通过开发 LTE、LTE-Advanced 的技术规范和技术报告，从而支持 3G 的演进系统。

3GPP 的结构包含一个项目协调组（Project Coordination Group，PCG）和一些技术规范组（Technical Specification Groups，TSG）[17]。项目协调组管理 3GPP 的整体工作进展，总共有 4 个 3GPP 技术规范组，每个技术规范组又分成一些工作组（Working Group，WG）：

1）TSG GERAN：GSM/GPRS/EDGE 无线接入技术（RAT）的演进和互操作。GERAN 代表 GSM EDGE 无线接入网络（GSM EDGE Radio Access Network），GPRS 代表通用分组无线服务（General Packet Radio Service），EDGE 代表 GSM 的增强数据速率演进（Enhanced Data rates for GSM Evolution）。这个技术规范组分为 3 个工作组：WG1（无线方向）、WG2（协议方向）和 WG3（终端测试）。

2）TSG RAN：无线方向。分为 5 个工作组：WG1（无线层 1）、WG2（无线层 2 和层 3）、WG3（UTRAN O&M 需求）、WG4（无线性能）和 WG5（移动终端一致性测试）。UTRAN 表示通用陆地无线接入网络（Universal Terrestrial Radio Access

Network)，E-UTRAN 表示演进的 UTRAN。

3）TSG SA：整体架构和服务能力。本技术规范组分为 5 个工作组：WG1（服务）、WG2（架构）、WG3（安全）、WG4（编解码）和 WG5（电信管理）。在此处 SA 表示服务和系统方面（Service and system Aspects）。

4）TSG CT：核心网和终端规范。在此处 CT 表示核心网和终端（Core network and Terminals）。

负责 SON 规范演进的工作组主要是 RAN WG3 和 SA WG5，有时需要与其他工作组协作，如 RAN WG2、GERAN WG2 和 SAWG2。

2.4.2 3GPP 中的 SON 现状（更新到 R9 版本）

从 R8 版本开始，3GPP 规范中开始增加一些特征来逐步支持 NGMN 预想的 SON 应用场景。本部分将 R9 版本规范的最终版作为参考点[18,19]，给出最相关的标准化功能的总结。总体上来说，参考文献［20］给出了 SON 的概念和需求，包括不同架构（集中式的、分布式的和混合式的）和商业级需求。

2.4.2.1 3GPP 的自配置（更新到 R9 版本）

新基站的自配置规范由参考文献［21，22，23］给出，描绘了一个通过最少人工操作将基站投入运营状态的必要步骤的框架。这个过程关注 LTE 网络，前提是 eNodeB 已实际建立、连接到运营商的 IP 网络中。根据参考文献［21］，整个流程可以通过人工发起，也可以在设备完成初始自测后自动发起。本过程包括将配置数据转化到 eNodeB，但通常不包括这些信息的获得和准备。其中，本过程的主要步骤是：给新 eNodeB 分配 IP 地址，提供关于传输网络的基本信息，基站对 O&M 系统告知其主要特征，将 eNodeB 连接到负责自配置的 O&M 子系统中，自动软件下载，初始传输和无线参数的自动配置，建立 S1 连接，建立规划好的 X2 连接，对存储系统声明新的 eNodeB，在选择步骤之后执行自测功能，为运营商产生状态报告，向北向接口上的实体声明新的 eNodeB 以及软件建立和激活。

第 4 章将专门讲述多无线制式网络的自规划，重点强调初始网络配置，不在 3GPP 规范的范围之内。

截止到 R9 版本，虽然提出了支持自配置过程的一个框架，但是这个领域的很多方面还处于开放状态，需要通过不同生产厂商自己解决。在这个方面，寻找真正推动标准化工作的标准化的场景和模型还是一个挑战，它的目标是，在自配置领域不再需要集成工作和运营商指定的解决方案。

2.4.2.2 3GPP 的自优化（到 R9 版本）

到 3GPP 的 R9 版本，提供了自优化功能的规范，然而这并不意味着所有厂商均会以相同的方式应用 SON 功能，因为在大部分场景中，协议只是提供了标准机

制和过程，使得构造SON功能时存在一定的讨论和应用的自由空间。这些机制主要保证可以进行UE测量并能够在UE和eNodeB之间及不同eNodeB之间交换有用信息。SON标准化的功能如下：

1）ANR，包括NGMN在邻区列表优化方面的用例，在参考文献［6］和［24］中做了描述，包括频率内和频率间的LTE邻区以及LTE小区的2G邻区和3G邻区。也定义了管理功能来控制基础设定，如白名单和黑名单[25]。

2）移动负载均衡（Mobility Load Balancing，MLB），包括NGMN负载均衡方面的用例，通过令标准过程的需求可行，在参考文献［11］、［24］、［26］、［27］和［28］中做了介绍。

3）移动鲁棒性优化（Mobility Robustness Optimization，MRO），包括NGMN切换参数优化方面的用例，在参考文献［11］、［24］和［26］中做了描述。

4）RACH优化，包括NGMN在公共信道优化方面的用例，在参考文献［11］、［24］、［26］和［28］中做了描述。

5）干扰控制，通过X2接口上信息元素交换过程的标准化来实现，如上行链路的高干扰指示（High Interference Indicator，HII）和过载指示（Overload Indicator，OI），下行链路的相对窄带发射功率（Relative Narrowband Transmit Power，RNTP），目标是将周围小区的干扰考虑到包调度的决策内[11]。

对以上所有功能，标准化机制的细节在第5章中给出（自优化）。

除了以上提到的用例的规范，容量和覆盖优化（Capacity and Coverage Optimization，CCO）也已经开始了讨论并且形成了需求。提供最佳覆盖和容量已在参考文献［26］中确认为关键目标，参考文献［5］中描述了一些需要解决的一般场景（带有2G/3G覆盖的E-UTRAN覆盖空洞，没有任何其他无线覆盖的E-UTRAN覆盖空洞和带孤岛小区覆盖的E-UTRAN覆盖空洞）。实现本应用场景的一些配置参数已在参考文献［25］中标准化了。

除此之外，MLB和MRO已经定义了管理能力，允许O&M系统来激活/关闭这个功能，设置带有不同优先级目标并收集相关的性能测量[29,30]。

2.4.2.3　3GPP的自愈合以及其他功能（到R9版本）

另外，R9版本[31]给出了关于自愈合的技术研究，提供了自愈合的通用工作流程，并为不同类型的系统问题确定了不同恢复措施。除此之外，定义了3种具体的自愈合用例：网元软件的自恢复、天线故障的自愈合以及小区中断的自愈合。

R9版本的另一重要技术研究与MDT[3]有关。这个功能被看作一个重要的推动力，它可以利用商用UE来记录和报告测量，并与每次测量的位置相结合（如果可用）。这些跟踪是网络监控和其他SON应用场景（如MRO、CCO和通用信道的参数化）的最重要支持。

2.4.3 3GPP R10 版本的 SON 目标

对于 R10 版本，以下内容将介绍不同工作组中与 SON 相关的最重要的目标[32]。

2.4.3.1 TSG SA WG5 的目标

TSG SA WG5 中与 SON 最相关的目标如下：

1）干扰控制（Interference Control，IC）、CCO 和 RACH 优化的管理方面的工作。

2）不同 SON 功能之间的协调工作。

3）完善自愈合研究［31］：①为自愈合功能的需求进行规范；②为自愈合功能定义输入和输出；③为这些功能的 O&M 支持进行规范。本工作可以参考参考文献［10］。

4）完善节能（Energy Saving，ES）的研究[4]，通过定义相关 O&M 需求，支持节能管理功能，与其他功能进行协调，定义用于评估节能行为的测量。相关工作可以参考 3GPP TS 32.551［通信管理、节能管理（Energy Saving Management，ESM）、概念和需求］。

5）完善北向接口结合设备管理研究[33]，重点是怎样管理 UE 的测量数据收集以及怎样将这些信息用于 MDT 和 SON。

2.4.3.2 TSG RAN WG1 的目标

对 TSG RAN WG1 来说，与 SON 最相关的目标是研究节能，重点是验证 UMTS NodeB 之内使节能可行的解决方案，并进行预评估[34]。

2.4.3.3 TSG RAN WG2 的目标

TSG RAN WG2 中与 SON 最相关的目标是，为以覆盖优化为主要盈利的 MDT 制定解决方案。为此，需要定义新 UE 测量和记录，以及与配置和报告相关的新 MDT 功能。本工作可以参考 3GPP TS 37.320［为最小化路测（Minimization of Drive Test，MDT）而进行的无线测量收集；整体描述；阶段 2］

2.4.3.4 TSG RAN WG3 的目标

TSG RAN WG3 中与 SON 相关的主要目标如下：

1）增强 MLB 和 MRO，需要支持多系统环境。

2）对容量和覆盖优化执行进一步工作。

3）为 UTRAN 标准化 ANR，支持 UTRAN 内和异系统切换环境，因此使 UTRAN 基站能够自主管理与 2G/3G/LTE 的邻区关系。

4）执行名为 E-UTRAN 网络节能（Network Energy Saving for E-UTRAN）[35]的研究，这是对节能应用场景初始工作的延续，研究目标是为 E-UTRAN 的节能确定

和评估潜在的解决方案。特别地，本研究将考虑基站内、基站间和异系统节能应用场景。第一个应用场景（eNodeB内节能），将会包含在RAN WG2中，其余的将由RAN WG3来解决。

2.5 研究社群中的SON

由于基础设施厂商正在发展SON解决方案，厂商给出的描述SON的观点的白皮书和提出的方案架构也广泛可用。除了厂商，以下集团和项目也正活跃地对SON的很多方面开展研究。

2.5.1 SOCRATES：无线网络的自优化和自配置

SOCRATES项目开始于2008年1月，结束于2010年12月，由欧盟第七框架计划[36]创立。

项目主要关注自组织方法的发展，来增强对无线接入网络的运营。项目选择了3GPP LTE无线接口作为研究的核心无线技术。目标是为SON发展新概念、方法和机制，定义新方法需要的新测量元素。项目的目标也要通过大量仿真来验证成熟的概念和方法，并且评估所提出的机制的应用和运营影响。

根据预期，SOCRATES项目会影响3GPP标准化和NGMN的工作，并且增强欧洲在标准化发展中的领导力。本项目的成果将在管理控制领域创造新的商业机会。

SOCRATES联盟包括设备商（爱立信公司和诺基亚西门子通信公司），移动运营商（沃达丰公司），规划、配置和优化网络的衍生公司（atesio公司）和研究机构（IBBT、TNO Information and Communication Technology和TU布伦瑞克）。

该项目考虑的用例在参考文献［37］中列出，参考文献［38］描述了为评估自组织解决方案而选择的准则和方法。项目中发展自组织功能的架构和指导方针在参考文献［39］中做了描述，更新应用场景和架构可以参考参考文献[40，41]。

SOCRATES项目已进入最终阶段，因此已开始公开其研究结果。例如，在2010年2月雅典举行的一个研讨会[42]中提出了一种用改善滞后现象和时间触发参数来优化切换失败率、掉话率和乒乓效应的MRO机制。在这个研讨会中，还提出了一种用于负载均衡类似的研究。所提出的方案通过调节切换偏移量将小区中的负载分配到邻区中[43]。

其他用例中也提出了类似文章。COC[44]、QoS优化[45]、LTE下行链路呼叫接入控制自优化[46]和包调度参数优化[47]。因为已经在会议中公开，其他文档可以参考[48]。

2.5.2　Celtic Gandalf：多系统网络中 RRM 参数的监视和自我调节

Celtic Gandalf 项目是 Celtic㊀的一部分，这是一个作为 Eureka㊁（Σ!）的分支公开成立的研究和开发计划，目的是培养欧洲在通信界的领导力[50]。项目初建于 2005 年 4 月，结束于 2007 年 4 月，它主要关注多系统环境下［包括 GSM、GPRS、UMTS 和无线局域网（WLAN）］自动 RRM 工作。具体地，本项目包括：①自动故障诊断；②自动网络参数调节；③高级综合 RRM[51,52]。

在 2008 年，项目获得了 Celtic Excellence Award 荣誉，这个奖项表彰了 6 个做出卓越成就的项目。

项目联盟的官方参与者是两个大学［爱尔兰利默瑞克大学（University of Limerick）和西班牙马拉加大学（University of Málaga）］和 4 个公司（Moltsen Intelligent Software、France Telecom R&D、Ericsson 和 Telefónica I + D）[51]。

2.5.3　Celtic OPERA-Net：移动无线网络中的能效优化

OPERA-Net 项目也是 Celtic[53]的一部分，初建于 2008 年 6 月，预期在 2011 年 5 月结束。项目的目标是成立一个以全局方式考虑移动无线网络的特别工作组，采用涉及所有相关网元及其不同程度互依赖性的端到端的方法。主要目标之一是，在系统、基础设施和终端级别上获得能量效率，使欧洲工业能在绿色移动网络方面扮演领导角色。根据参考文献［53］，项目的参与者如下：Alcatel-Lucent（爱尔兰）、Cardiff University（英国）、France Telecom R&D（法国）、Freescale（法国）、IMEC（比利时）、Nokia Siemens Networks（芬兰）、Thomson Grass Valley（法国）、VTT（芬兰）、MITRAI（比利时）和 I2R（新加坡）。另外，据报道，Efore（芬兰）将加入这个项目。

项目的一些结果可以参考参考文献［54］，据报道，与 SON 相关的示例，例如通过选择性地将某些单独的扇区设置为休眠模式，可以节能达 33%。

2.5.4　E3：端到端效率

E3 是欧盟第七框架计划[55]的一个综合项目。初建于 2008 年 1 月，结束于 2009 年 12 月。这是一个雄心勃勃的项目，有很多参与者（公共机构和私营企业），目标是鉴别和定义新的设计，用于将当前的异构无线系统发展为可扩展的高效的超

㊀ Celtic 是一个研究和发展的欧洲项目，旨在加强欧洲在电信业的竞争力，Celtic 是在 2003 年 11 月推出的，并将于 2011 年完成。它汇集了很多感兴趣的合作伙伴，包括工业领域电信运营商、小型/中小型企业、大学和研究机构，并设立和开展国际联合，协作 R&D 项目[49]。Celtic 项目的费用由国家供资机构和私人投资共同承担。

㊁ EUREKA 是一个政府间的网络，发起于 1985 年，由 39 名成员组成，包括欧洲共同体。

3G（Beyond 3G，B3G）认知无线电系统。

项目的主要目标是设计、发展原型机和展示方案，用于保证现有的系统和未来的无线系统之间的互操作性、灵活性和可扩展性，管理整体系统的复杂性，以及保证不同接入技术、商区、管理区和地理区域的覆盖。其思路是将管理功能分布到不同网元和级别上，根据认知无线电网络的概念来优化无线资源的使用。

从众多关于需求、结构、场景的文档和认知无线电系统的报告中[56]，需要指出的是一个介绍SON应用场景的一些机制和仿真结果的文档[57]。在这个文档中，给出了基于规则的机制和遗传机制的对比，用于小区中断补偿和切换参数优化。进而，评估了一个用于负载均衡的基于规则的机制。最后，介绍了节能和小区间干扰协调（Inter-Cell Interference Coordination，ICIC）的仿真框架。

参考文献

[1] Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance, White Paper (2010) *NGMN Technical Achievements 2007–2010*, Version 2.0, 16 December 2010, http://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_Technical_ Achievements_2007-2010.pdf (accessed 3 June 2011).

[2] Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance, White Paper (2006) *Next Generation Mobile Networks Beyond HSPA & EVDO*, Version 3.0, 5 December 2006, http://www.ngmn.org/uploads/media/Next_Generation_Mobile_Networks_Beyond_HSPA_EVDO_web.pdf (accessed 3 June 2011).

[3] 3GPP, Technical Report, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Study on Minimization of Drive-Tests in Next Generation Networks*, 3GPP TR 36.805 Version 9.0.0, Release 9, 5 January 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.805/36805-900.zip (accessed 3 June 2011).

[4] 3GPP, Technical Report, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Study on Energy Savings Management (ESM)*, 3GPP TR 32.826 Version 10.0.0, Release 10, 6 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.826/32826-a00.zip (accessed 3 June 2011).

[5] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP): Requirements*, 3GPP TS 32.521 Version 9.0.0, Release 9, 6 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.521/32521-900.zip (accessed 3 June 2011).

[6] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2009) *Automatic Neighbour Relation (ANR) Management; Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.511 Version 9.0.0, Release 9, 31 December 2009, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.511/32511-900.zip (accessed 3 June 2011).

[7] TM Forum (2011) www.tmforum.org (accessed 3 June 2011).

[8] Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance, Requirement Specification (2008) *NGMN Recommendation on SON and O&M Requirements*, Version 1.23, December 2008, http://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_Recommendation_on_SON_and_O_M_Requirements.pdf (accessed 3 June 2011).

[9] Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance, Deliverable (2008) *NGMN Use Cases Related to Self Organising Network, Overall Description*, Version 2.02, December 2008, http://www.ngmn.org/uploads/media/NGMN_Use_Cases_related_to_Self_Organising_Network__Overall_Description.pdf (accessed 3 June 2011).

[10] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Self-Healing Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.541 Version 1.4.0, Release 10, 6 August 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.541/32541-140.zip (accessed 3 June 2011).

[11] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *X2 Application Protocol (X2AP)*, 3GPP TS 36.423 Version 9.3.0, Release 9, 15 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.423/36423-930.zip (accessed 3 June 2011).

[12] Ramiro, J. (2003) *System Level Performance Analysis of Advanced Antenna Concepts in WCDMA*, Ph.D. Thesis, Aalborg University.
[13] Lee, C. and Steele, R. (2006) Closed-loop power control in CDMA systems, *IEE Proceedings on Communications*, **143**(4), pp. 231–239.
[14] Jalali, A. and Mermelstein, P. (1993) Power control and diversity for the downlink of CDMA systems, *Conference Records on the 2nd International Conference on Universal Personal Communications*, **2**, pp. 980–984, October 1993.
[15] 3GPP (1998) *The 3rd Generation Partnership Project Agreement*", 4 December 1998, http://www.3gpp.org/ftp/Inbox/2008_web_files/3gppagre.pdf (accessed 3 June 2011).
[16] 3GPP (2011) *About 3GPP*, http://www.3gpp.org/About-3GPP (accessed 3 June 2011).
[17] 3GPP (2010) *Specification Groups*, http://www.3gpp.org/Specification-Groups (accessed 3 June 2011)
[18] 3GPP (2010) *Overview of 3GPP Release 8*, Version 0.1.0, April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Previous_versions/Rel-08_description_20100421.zip (accessed 3 June 2011).
[19] 3GPP (2010) *Overview of 3GPP Release 9*, Version 0.1.0, June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Previous_versions/Rel-09_description_20100621.zip (accessed 3 June 2011).
[20] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2009) *Self-Organizing Networks (SON); Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.500 Version 9.0.0, Release 9, 31 December 2009, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.500/32500-900.zip (accessed 3 June 2011).
[21] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Self-Configuration of Network Elements; Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.501 Version 9.1.0, Release 9, 6 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.501/32501-910.zip (accessed 3 June 2011).
[22] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Self-Configuration of Network Elements Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS)*, 3GPP TS 32.502 Version 9.2.0, Release 9, 18 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.502/32502-920.zip (accessed 3 June 2011).
[23] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Self-Configuration of Network Elements Integration Reference Point (IRP); Common Object Request Broker Architecture (CORBA) Solution Set (SS)*, 3GPP TS 32.503 Version 9.1.0, Release 9, 18 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.503/32503-910.zip (accessed 3 June 2011).
[24] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Overall Description; Stage 2*, 3GPP TS 36.300 Version 9.4.0, Release 9, 18 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.300/36300-940.zip (accessed 3 June 2011).
[25] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN) Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Information Service (IS)*, 3GPP TS 32.762 Version 9.4.0, Release 9, 8 October 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.762/32762-940.zip (accessed 3 June 2011).
[26] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions*, 3GPP TS 36.902 Version 9.2.0, Release 9, 15 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.902/36902-920.zip (accessed 3 June 2011).
[27] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *S1 Application Protocol (S1AP)*, 3GPP TS 36.413 Version 9.3.0, Release 9, 15 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.413/36413-930.zip (accessed 3 June 2011).
[28] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification*, 3GPP TS 36.331 Version 9.3.0, Release 9, 18 June 2010, Release 9, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.331/36331-930.zip (accessed 3 June 2011).
[29] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Radio Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP): Information Service (IS)*, 3GPP TS 32.522 Version 9.0.0, Release 9, 6 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.522/32522-900.zip (accessed 3 June 2011).
[30] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Self-Organizing Networks (SON); Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Common Object Request Broker Architecture (CORBA) Solution Set (SS)*, 3GPP TS 32.523 Version 9.0.0, Release 9, 18 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.523/32523-900.zip (accessed 3 June 2011).

[31] 3GPP, Technical Report, Technical Specification Group Service and System Aspects (2009) *Study on Self-Healing*, 3GPP TR 32.823 Version 9.0.0, Release 9, 1 October 2009, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.823/32823-900.zip (accessed 3 June 2011).

[32] 3GPP (2010) *Overview of 3GPP Release 10*, Version 0.0.7, June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Previous_versions/Rel-10_description_20100621.zip (accessed 3 June 2011).

[33] 3GPP (2010) Technical Report, Technical Specification Group Service and System Aspects, *Integration of Device Management Information with Itf-N*, 3GPP TR 32.827 Version 10.1.0, Release 10, 22 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.827/32827-a10.zip (accessed 3 June 2011).

[34] 3GPP (2009) Document presented at Radio Access Network Group Plenary Meeting, Meeting #46, *SID on Study on Solutions for Energy Saving within UTRA Node B*, RP-091439, Release 9, 4 December 2009, http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_46/Docs/RP-091439.zip (accessed 3 June 2011).

[35] 3GPP (2010) RAN Plenary Meeting #48, RP-100674, *SID on Study on Network Energy Saving for E-UTRAN*, 3 June 2010,http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_48/Docs/RP-100674.zip (accessed 3 June 2011).

[36] SOCRATES Project (2008) http://www.fp7-socrates.eu (accessed 3 June 2011).

[37] SOCRATES Project (2008) Deliverable, *Use Cases for Self-Organising Networks*, March 2008, http://www.fp7-socrates.eu/files/Deliverables/SOCRATES_D2.1%20Use%20cases%20for%20self-organising%20networks.pdf (accessed 3 June 2011).

[38] SOCRATES Project (2008) Deliverable, *Assessment Criteria for Self-Organising Networks*, June 2008, http://www.fp7-socrates.eu/files/Deliverables/SOCRATES_D2.3%20Assessment%20criteria%20for%20self-organising%20networks.pdf (accessed 3 June 2011).

[39] SOCRATES Project (2008) Deliverable, *Framework for the Development of Self-Organising Networks*, July 2008, http://www.fp7-socrates.eu/files/Deliverables/SOCRATES_D2.4%20Framework%20for%20self-organising%20networks.pdf (accessed 3 June 2011).

[40] SOCRATES Project (2009) Deliverable, *Review of Use Cases and Framework*, March 2009, http://www.fp7-socrates.eu/files/Deliverables/SOCRATES_D2.5%20Review%20of%20use%20cases%20and%20framework%20(Public%20version).pdf (accessed 3 June 2011).

[41] SOCRATES Project (2009) Deliverable, *Review of Use Cases and Framework II*, December 2009, http://www.fp7-socrates.eu/files/Deliverables/SOCRATES_D2.6%20Review%20of%20use%20cases%20and%20framework%20II.pdf (accessed 3 June 2011).

[42] SOCRATES Project (2010) Presentation, *Handover Parameter Optimization in LTE Self-Organizing Networks*, February 2010, http://www.fp7-socrates.eu/files/Publications/SOCRATES_2010_COST%202100%20TD(10)10068.pdf (accessed 3 June 2011).

[43] SOCRATES Project (2010) Presentation, *Load Balancing in Downlink LTE Self-Organizing Networks*, February 2010, http://www.fp7-socrates.eu/files/Publications/SOCRATES_2010_COST%202100%20TD(10)10071.pdf (accessed 3 June 2011).

[44] SOCRATES Project (2010) Presentation, *Automatic Cell Outage Compensation*, March 2010, http://www.fp7-socrates.eu/files/Presentations/SOCRATES_2010_NGMN%20call%20-%20cell%20outage%20compensation.pdf (accessed 3 June 2011).

[45] SOCRATES Project (2010) Presentation, *SOCRATES QoS Optimisation: an Introduction*, February 2010, http://www.fp7-socrates.eu/files/Presentations/SOCRATES_2010_NGMN%20call%20-%20QoS%20optimisation%20intro.pdf (accessed 3 June 2011).

[46] SOCRATES Project (2010) Presentation, *Self-Optimising Call Admission Control for LTE Downlink*, February 2010, http://www.fp7-socrates.eu/files/Presentations/SOCRATES_2010_NGMN%20call%20-%20admission%20control%20optimisation.pdf (accessed 3 June 2011).

[47] SOCRATES Project (2010) Presentation, *D3.1B Packet Scheduling Parameter Optimization Use Case*, February 2010, http://www.fp7-socrates.eu/files/Presentations/SOCRATES_2010_NGMN%20call%20-%20packet%20scheduling%20optimisation.pdf (accessed 3 June 2011).

[48] SOCRATES Project (2011) *List of publications*, http://www.fp7-socrates.eu/?q=node/10 (accessed 3 June 2011).

[49] Celtic-Plus Initiative (2010) http://www.celticplus.eu/ (accessed 3 June 2011).

[50] GANDALF Project (2010) http://www.celtic-initiative.org/Projects/Celtic-projects/Call2/GANDALF/gandalf-default.asp (accessed 3 June 2011).

[51] GANDALF Project (2010) http://www.celtic-initiative.org/Projects/Celtic-projects/Call2/GANDALF/gandalf-default.asp (accessed 3 June 2011).

[52] Stuckmann, P., Altman, Z., Dubreil, H., Ortega, A., Barco, R., Toril, M., Fernandez, M., Barry, M., McGrath, S., Blyth, G., Saidha, P. and Nielsen, L.M. (2005) The EUREKA Gandalf project: monitoring and self-tuning techniques for heterogeneous radio access networks, *IEEE Proc. 61st Vehicular Technology Conference*, **4**, pp. 2570–2574, May 2005.
[53] OPERA-Net Project (2008) http://opera-net.org/ (accessed 3 June 2011).
[54] OPERA-Net Project (2010) Presentation at the Celtic Event 2010 in Valencia, *OPERA-Net Project Stand 21*, April 2010, http://opera-net.org/Documents/5024v0_Opera-Net_Celtic%20Event%20Valencia%202010_Demos%20Presentation.pdf (accessed 3 June 2011).
[55] E3 Project (2009) https://ict-e3.eu (accessed 3 June 2011).
[56] E3 Project (2009) *List of deliverables*, https://ict-e3.eu/project/deliverables/deliverables.html (accessed 3 June 2011).
[57] E3 Project (2009) Deliverable, *Simulation based recommendations for DSA and self-management*, https://ict-e3.eu/project/deliverables/full_deliverables/E3_WP3_D3.3_090631l.pdf (accessed 3 June 2011).

第3章　多无线制式的SON技术

Rubén Cruz、Khalid Hamied、JuanRamiro、LarsChristoph Schmelz、MehdiAmirijoo、Andreas Eisenblätter、Remco Litjens、Michaela Neuland 和 John Turk

3.1　多无线制式SON的驱动力

尽管当前的商业化和标准化的努力主要集中在引入长期演进（Long Term Evolution，LTE）网络，并在LTE网络中实行自组织功能，但是需要对网络自组织（Self-Organizing Networks，SON）各功能的范围进行延伸，让其除了覆盖LTE，还能覆盖GSM、GPRS、EDGE、UMTS和HSPA这些无线接入系统，这具有巨大的潜力。在本书剩下的部分中，这样一种扩展的概念称为多无线制式的SON技术。

多无线制式SON的影响是多方面的。一方面，采用多无线传输技术方法，允许运营商进行彻底的变革，提高他们的运营效率，这不但要在新增LTE网络中使用一种新型的自动化方法，而且要把关键的优势从SON扩展到所有无线接入系统中，从而使整个网络的管理方案与运营效率都协调一致。刚才提到的SON的关键优势如下：

1）减少运营费用（OPerational EXpenditure，OPEX），主要通过如下途径实现：①自动化；②节能；③通过资源利用率的优化进而降低对传输线路的租用需求。

2）减少基本建设费用（CAPital EXpenditure，CAPEX），主要通过如下途径实现：①采用了自组织技术后，提高了容量规划性能；②由于应用了智能优化技术而提高了系统容量。

3）更好的服务质量（Quality of Service，QoS），通过对有故障的网络事件进行快速反应，同时使用大量先进的自优化技术。

另外，多无线制式SON解决方案使更广泛的优化策略可行，这些策略可以同时处理若干种无线接入技术。对于那些在相关的优化过程中涉及跨层的限制，例如不同无线接入技术使用相同的天线，这种采用多无线制式的意识十分重要。在这种场景下，如果待规划或者待优化的参数不能针对不同的无线接入技术分开进行调节（例如，如果天线模型不允许对UMTS和LTE配置不同的电调倾角），那么仅对某一种技术采用自优化是不合适的，因为LTE性能的改善可能会以UMTS性能恶化

为代价。如图 3.1 所举例子，在一个成熟的 UMTS 网络中，其相邻基站的覆盖区域是相互重叠的，在某个特定的区域内，LTE 网络与之共存。就像图 3.1 所示，LTE 的业务等级和质量指示可能建议天线把倾角上调，以改善 LTE 的覆盖，尤其是当系统还远没达到容量限制且用户吞吐量令人满意的情况下。然而，如果这个操作会因为天线共享而使 UMTS 层的倾角也上调，导致增加了 UMTS 小区间干扰的问题，那么这次调整的整体效果值得质疑。此场景下，在执行优化操作的时候，有必要用一种联合多无线制式方式对网络进行观察，这就变成了联合多无线制式过程。第 4 章将会提供更多的细节。

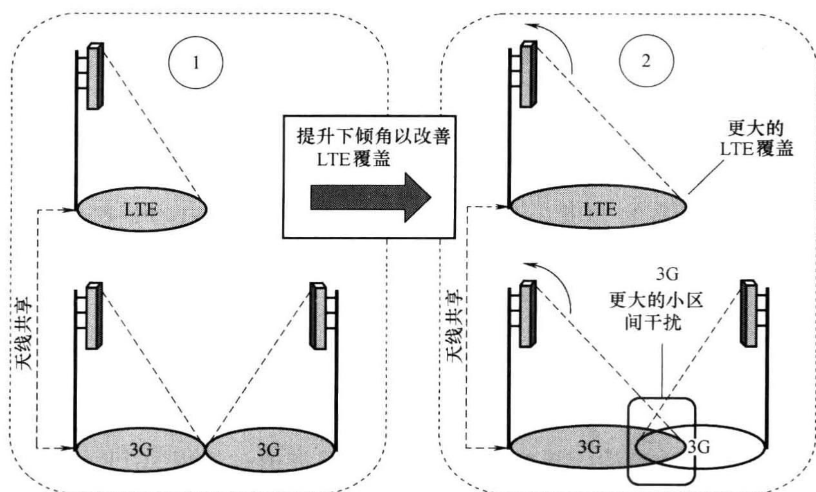


图 3.1　多无线制式下的 RF 自优化示意（一个简单举例）

在这方面，还有一个重要领域，那就是智能负载平衡策略在不同无线制式之间进行精心安排，这是为了提高重叠覆盖的多层系统的集群效率，从而增加整个网络的容量，并降低阻塞率，例如，更高的业务等级（Grade of Service，GoS）和对额外基建投资的时延需求的降低。

然而，关于多无线制式 SON 应用的一些关键问题，还需要考虑：

1）SON 并不是第二代（2nd Generation，2G）和第三代（3rd Generation，3G）网络原本具有的特性。

2）可能需要对提供 SON 功能的外部中心实体进行集成。这个实体可以由基础设施设备商或第三方设备商来提供，详见 3.2 节。

3）当把 LTE 的 SON 应用场景引入到 2G 和 3G 网络时，由于缺少标准化的支持，对运营和维护（Operation And Maintenance，O&M）功能以及对不同设备商的约束需要进行精确的评估和考虑。

4）必须构造一个典型的商用场景以明确如何把 SON 加到现有的网络中。

3.2　多无线制式 SON 的架构

系统架构就是一个模型，它定义了其结构和基本组成部分，并描述了这些组成部分之间的关系。在本节中，将介绍多无线制式 SON 的高层系统架构。

3.2.1　网络自组织的部署架构

下面所述的 SON 架构已经在第三代合作伙伴计划（Third Generation Partnership Project，3GPP）的 LTE 网络中进行了定义[1]。在本节中，将把这些架构作为部署架构来参考。

1）集中式：所有的 SON 算法和功能都位于 O&M 系统中。在这个架构中，SON 功能在数量较少的高层实体中实现。

2）分布式：所有的 SON 算法和功能都位于网元（Network Element，NE）层上，例如，增强的 NodeB（Enhanced NodeB，eNodeB）。在这种架构中，SON 功能在数量庞大的低层单元中实现。

3）混合式：一些 SON 算法和功能位于 O & M 系统中，另一些位于 NE 层。

这三种针对 LTE 系统的 SON 架构在图 3.2 中展示。在下面的章节中，对针对 LTE 的部署架构进行了扩展，使其覆盖了 GSM 和 UMTS。然而，值得注意的是，由于 GSM 和 UMTS 是现有的无线接入技术，因此只能通过使用3GPP 标准化的或者特定设备商的专用解决方案，分布式的 SON 架构才可实现。虽然在 UTRAN 中，3GPP 已经开始对一些 SON 应用场景进行标准化，例如，自动邻区关系（Automatic Neighbor Relation，ANR），但可以肯定的是，分布式 2G 和 3G 系统对 SON 的支持只限定在少数的几个应用场景中。

3.2.2　SON 架构的比较

3.2.2.1　集中式 SON 架构的优缺点

在集中式 SON 架构中，判决执行实体位于 O&M 系统中，这允许访问配置管理（Configuration Management，CM）数据、性能管理（Performance Management，PM）数据和其他企业数据源（例如，规划数据库），因为这些本身就是集中式的。下述的优点主要归因于 SON 功能的特殊性，它可以从不同的小区中访问所有类型的性能指标。下面将在自优化的场景下给出优缺点，在某种程度上讨论同样也适用于自规划和自愈合。一个集中式 SON 架构有如下优点：

1）有能力且灵活地支持涉及不同小区的参数互相关和性能指标的优化策略。因此，一个集中式架构支持全局优化，其中，改变一个特定目标小区参数的判决将

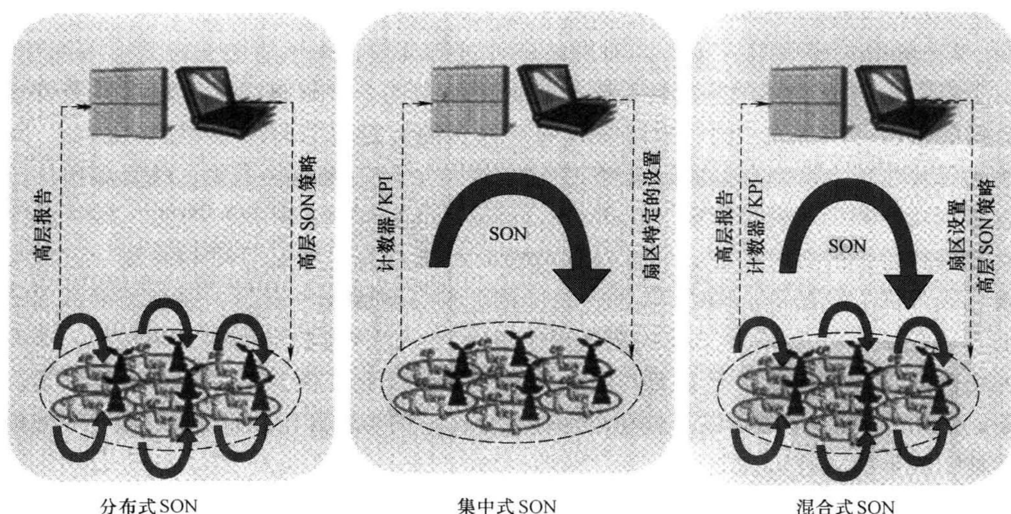


图 3.2　SON 架构

依据其他小区的全局度量和参数，这些小区无需位于目标小区附近。

2）有能力且灵活地支持涉及采用不同无线接入技术小区参数互相关和性能指示的优化策略。集中式架构支持多制式联合优化，这意味着，即使考虑到改变参数对不同接入技术的影响，也能同时对两种或多种接入技术同时进行优化，这在资源共享的情况下是非常必要的（例如，图 3.1 所示的天线共享）。此外，即使在资源不共享的情况下（例如，对于业务平衡应用场景），多接入技术联合优化也是有必要的。

3）灵活地支持修正优化策略及算法。由于判决执行实体可以访问数据量庞大的信息库，因此修正优化策略或算法（这需要用到额外的参数和性能指示）就相对简单且不再需要额外信息交换，因为这些信息可以立即从信息库中调用。

4）部署简单，因为 SON 功能位于少数一些单元中，由于同样的原因，它还将很容易对现存的 SON 功能进行更新。

5）在多设备商网络中校准优化策略的能力。集中式 SON 架构的另一个重要优点是对来自不同设备商的不同网络的处理能力。通过集中式 SON 解决方案，可以更容易地确定整个网络的优化策略是否完全校准统一。

6）允许网络基础设施的 SON 去耦合功能，因此支持有竞争力的第三方 SON 解决方案嵌入网络，以提高创新性并缩短正式商用的时间。

集中式 SON 架构有如下缺点：

1）为使 SON 功能可使用配置管理和性能管理数据，需要较大带宽和较大的数据交换。然而，因为日常网络运营的需求，这些数据始终被网络管理系统（Net-

work Management System，NMS）所用（见 5.13 节）。

2）集中式 SON 功能既不能对网络事件进行反应，也不适应实时的业务变化，由于集中式 SON 功能的响应性受到时延的限制，这个时延跟配置管理和性能管理数据的是否可用有关，同时也跟写入的（修正的）配置管理参数相关（例如，发送改变参数请求后到参数实际改变之间的时间）。有一点非常重要，就是如何区分自组织功能和无线资源管理（Radio Resource Management，RRM）功能，其中 RRM 功能保持持续的实时控制，它涉及针对控制系统行为的特定策略和算法，诸如切换、接入许可控制等。RRM 和 SON 之间的区别有时候并不明显，但是不能混淆它们（详见 2.3 节）。集中式自组织适用于慢过程，这种过程能监视网络性能、修改网络配置以优化性能，例如无线电波传播环境或者业务模式的变化。在这种情况下，集中式 SON 功能可以通过动态地优化算法中的参数和门限来优化 RRM 算法的性能，例如接入许可控制。

3）全局化故障。这是集中式系统的一种普遍特性，在这种情况下，它意味着 SON 系统的故障将影响它所控制的所有网元或节点。两种类型的故障比较典型：①运转中断导致系统不可用；②不正常运转，例如 SON 功能对网络进行了改变从而导致较为严重的网络恶化。然而，如果集中式 SON 正以一种慢节奏来控制和优化网络性能，那么这对网络可靠性就并不显得那么重要，而 SON 功能失效也不会导致网络运转中断和故障。集中式 SON 运转中断的惟一结果就是系统自我调节的能力将会暂停，将会以一种非最优的方式运行。如前面所述的关于节能（Energy Saving，ES）的应用场景是一个特例，在这个场景中，SON 功能可能会使一些基站中断运转并且关闭，然而这种间断性关闭基站的理由可能会导致严重的性能恶化，集中式 SON 的故障也会导致严重的网络恶化。

通常地，“全局化故障”这个缺点可以通过下述方式来改善：

1）使用大量的高可靠性基础设施。这将最小化集中式 SON 系统的故障时间。

2）当在 SON 节能功能中检测到运转中断时存在一种机制开启所有基站。这可以由一个单独的、可靠的实体来实现，这个实体能监视 SON 节能功能的状态，在检测到运转中断时，这个实体还能进行控制。

3）具有回退到上一个已知较好配置的机制。回退功能应该由一个单独的实体来提供，在检测到常规 SON 系统出现故障时，这个实体能进行控制，并且当网络性能恶化超过预定的门限，且与网络的变化相关时，可以识别出故障。

3.2.2.2　分布式 SON 架构的优缺点

在分布式 SON 架构中，判决执行实体位于 NE 中，它可以访问来自控制 SON 功能的 NE 的实时信息，也可以通过 X2 和 S1 接口访问来自于相邻网元的信息。分布式 SON 架构有如下优点：

1）允许实时执行。SON 功能能够对网络事件进行反应，也能适应实时业务模

式下的突发变化。

2）不需要很大的带宽以及很大的数据交换，因为数据是在本地收集的，只跟邻区进行交换。

3）不会有全局化的故障。因此，在系统层面，分布式 SON 具有故障恢复特性。如果某个 SON 功能坏了或者出现了故障，它只会影响一个节点（以及可能的少数邻区节点），而不会影响到大量网元。

分布式 SON 架构有下述缺点：

1）分布式架构的优化通常发生在本地并且只涉及很少的网元。然而，如果通过标准化或者设备商设定的功能，使得大量小区之间的额外信息交换与协调变得十分方便，可以把对全局优化策略扩展到分布式架构中。

2）不支持涉及来自不同无线接入技术小区的性能指示和参数相关的优化策略，因为那需要它们之间的信息交换。然而，如果通过标准化或者设备商设定相关功能可以使不同制式小区间的信息交换与协调变得方便。

3）难以更改优化策略和算法，因为这需要对额外信息交换或者在 NE 层对各设备商的优化机制进行标准化。

4）除了已经完全标准化的优化算法场景，在其他场景中不同设备商网络仍然缺乏统一的优化策略。

5）对于那些驻留在不同节点上的 SON 功能，难以进行协调，因为信息交换只限制在与邻节点之间。然而，如果采用非直接协调，可以克服这个缺点。开发间接协调功能将成为通信网络自组织技术的一个重要设计目标[2]。

3.2.2.3　混合 SON 架构的优缺点

顾名思义，混合架构集成了集中式和分布式。因此，它具有这两种架构的优点。例如，它允许利用集中式判决执行实体来改进优化策略，同时又支持需要进行实时优化的场景。然而，混合架构具有在集中式和分布式 SON 功能之间协调复杂度的问题（或者缺乏协调），这可以通过让两个功能集合（例如，集中式和分布式）分担任务来解决。

3.2.3　SON 功能的协调㊀

一个 SON 系统可以提供多种 SON 功能来执行与优化、规划和恢复有关的一些任务。在一个给定的 SON 部署中，一些 SON 功能很可能会同时应用在同一个地理区域。对于那些不得不对 SON 功能配置进行管理的运营商来说，这就意味着会有管理上的复杂性以及对于处于重叠区域和时间的 SON 功能之间会有潜在交互。为了对付这个管理上的复杂性，需要考虑很多因素。那些因素跟其他概念上的解决方

㊀ 本节所展示的工作是来自于 FP7 SOCRATES[3] 项目，这个项目的部分资金由欧洲联盟委员会提供。

案一样，会在本章针对每一种架构选择（集中式、分布式或者混合式）进行讨论。正如本章所描述的，实施SON功能管理的SON实体就是SON协调单元（或SON管理单元）。SON协调单元提供了一个可支持不同SON功能进行并行工作的框架（参见参考文献［4］）。

3.2.3.1 SON协调单元的优势

SON协调单元扮演着SON功能、运营商和网络之间的接口的角色，如图3.3所示。

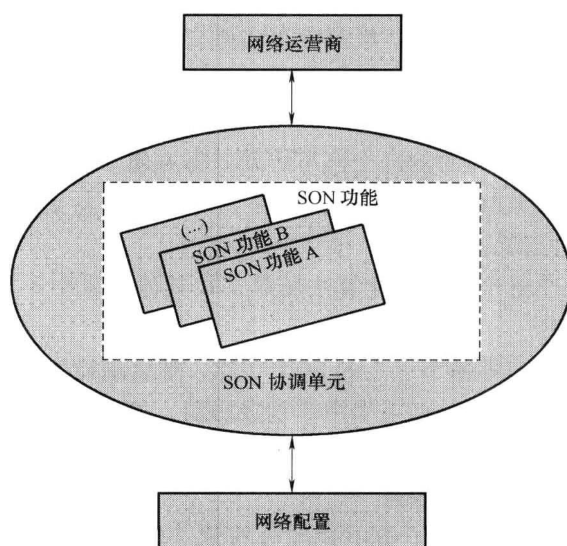


图3.3 SON协调单元作为SON功能、运营商和网络之间的接口

当确认不同SON功能目标不会冲突的情况下，运营商不必再需要单独配置每个SON功能。这样的话，避免了为不同SON功能制定详细目标时发生冲突的可能。这项任务由协调单元根据来自运营商设定的高层目标中的一个单一集合来执行，将在3.2.3.2.1节中进一步阐述。协调单元同样会对所有SON功能关于参数改变（或者参数改变带来的影响）引发冲突的输出信息进行分析，并采取相应措施，将在3.2.3.2.2节中进一步阐述。如3.2.3.2.3节所述，当多个SON功能需要使用相同的输入参数时，协调单元将会向这些SON功能模块以及协调单元其他部分提供信息。如3.2.3.2.4节所述，协调单元能检测出SON行为是否异常，并能进一步采取紧急修正行为。

3.2.3.2　SON 协调单元的组成

图 3.4 展示了 SON 协调单元的概念结构，图中描述的组成部分会在下面的小节中加以阐述。

3.2.3.2.1　策略功能

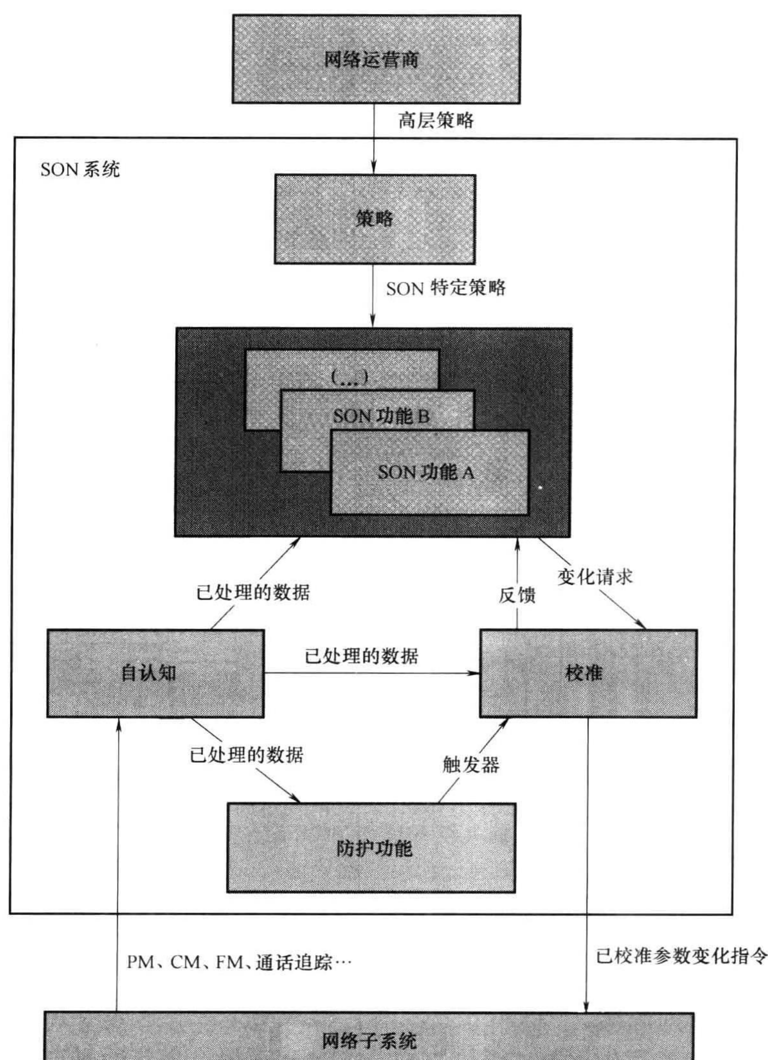


图 3.4　SON 协调单元的概念结构（简化的，经 2011 年 IEEE 允许重新绘制）

配置 SON 功能可能对运营商来说很麻烦，并且很可能会有风险。策略功能为网络运营商提供了接口，运营商通过它来设置高层性能目标，其中这些目标可以表

示用户满意度或/和商业层面的目标，例如，小区边缘性能需求的最小化、平均用户吞吐量以及覆盖。策略功能把这些高层目标转化为 SON 功能特定的性能目标，就像图 3.5 所示。这带来了一些好处（对于策略功能来说，这些好处可能有较大的需求）：

1）它确保了每个 SON 功能的目标都持续针对一个共同的目标。

2）通过对 SON 策略的智能应用，SON 功能间的冲突可以得到解决。

3）每个 SON 功能都是用最优化的方式进行配置（参数化）的，同时考虑跟其他 SON 功能之间、其他应用的小区类型（城市、郊区、乡村、室内等）之间以及其他参数之间的交互。

4）运营商需要为 SON 系统提供配置信息，这些信息对于用户来说既要数量最小，又非常重要。这反过来意味着更好的 SON 系统性能，并且由错误的配置导致的故障发生概率也会更低。

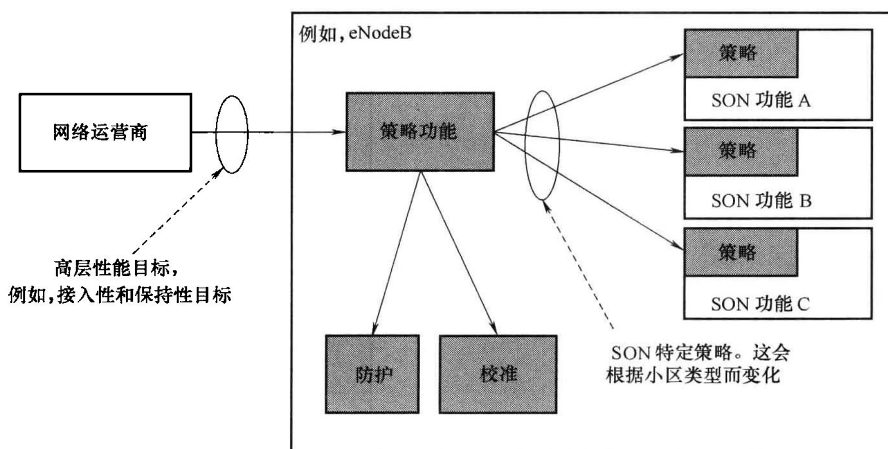


图 3.5　策略功能（经 2011 年 IEEE 允许重新绘制）

3.2.3.2.2　校准功能

由于一些 SON 功能可能会并行地运行，由策略功能带来的不可避免的冲突就会增加。值得注意的是，SON 功能之间的耦合和冲突取决于不同的因素，例如控制参数的选择、时间规模、SON 功能的目标、输入测量等。这些因素将对 SON 功能之间的耦合与功能产生影响。在这方面，SON 功能要么能进行独立的设计再进行协调（如果有必要这么做的话），要么它们从一开始就进行设计，从而能最小化 SON 功能之间的耦合。所以，一个严谨的 SON 功能设计方案应该不具有任何耦合与依赖性。后面我们假设在至少两个 SON 功能之间存在依赖性和冲突。冲突可以通过校准功能来解决，冲突是由不同的 SON 功能带来的变化导致的，这些变化是

在相同的管理对象参数下，或者它们可能具有相同的参数变化带来的影响，例如，导频功率和天线倾角都影响着覆盖。当检测到冲突变化请求时，校准功能要么接收其中一个且拒绝另一个，要么产生一个折中的解决方法。冲突请求的发送并不一定要求同步，但是可以在一个规定的时间内发送。一些规则必须强制执行，诸如允许的参数范围或者数值组合。

3.2.3.2.3 自认知功能

自认知功能能为SON功能和协调单元的其他部分提供信息。它可以为所有需要这项服务的SON功能处理网络性能、网络配置和网络中的错误数据。通常来说，用来处理这种数据的独立单元有三方面的优点：第一，一旦自认知功能开启，它能更有效地执行运算，而不让每个SON功能重复这个运算；第二，确保每个SON功能都以其对通用数据集的判决而建立起来；第三，这使得检测和滤掉不可靠数据成为可能，进而确定估计的统计精度。

3.2.3.2.4 防护功能

在具有潜在的极度灾难性的SON行为出现时，防护功能可以检测出来并采取措施。它能通过来自于自认知和表现不佳的测试判决，诸如关键性能指示（Key Performance Indicator，KPI）中较大的振动、网络KPI中的极限绝对值以及KPI的非常规组合，又例如，较高的随机接入信道负载和较低的业务负担。防护功能则是用来触发对付这些问题的必要操作，包括命令校准功能放慢速度、停止或者回复近期的参数变化。执行后退操作的能力在3GPP规范中有所阐述，在实施新的配置后，它可以作为SON系统用来监视网络的手段，如果网络并没有像预期的那样运行，它也可以作为SON系统让网络退回到之前的设置并保存配置的手段[5]。防护功能无法协助SON特性来获得性能目标，用户业务的波动也不应该触发它的操作。

3.2.3.3 分类

如前面所描述的，如果根据SON功能的位置（例如，管理的对象和领域）和互相依赖性（例如，SON功能之间潜在的冲突）来对SON功能进行分类，管理SON功能可能更容易实现。用来协调SON功能的方法存在于每一类中，因此，不同层的SON功能可能会独立地进行协调，例如驻留在O & M层的集中式SON功能和针对eNodeB的分布式功能。分类同样可能应用于一个位置相同但相互没有依赖性的SON功能，例如，eNodeB端的切换优化和物理小区标识（Physical Cell Identifier，PCI）分配的SON功能不会共享参数并且不会对性能产生一般影响，因此它们就没必要共享相同的策略和校准功能。分类的概念在图3.6中展示。下面描述的是不同SON协调单元之间的交互：

1）在集中式SON功能和分布式功能之间进行协调会过于复杂。因此建议对集中式和分布式功能之间的任务进行分割。

2）就像3.2.2.2节中说明的那样，对驻留在不同位置的SON功能进行协调也很困难。因此建议减少位于不同节点上的SON功能协调。

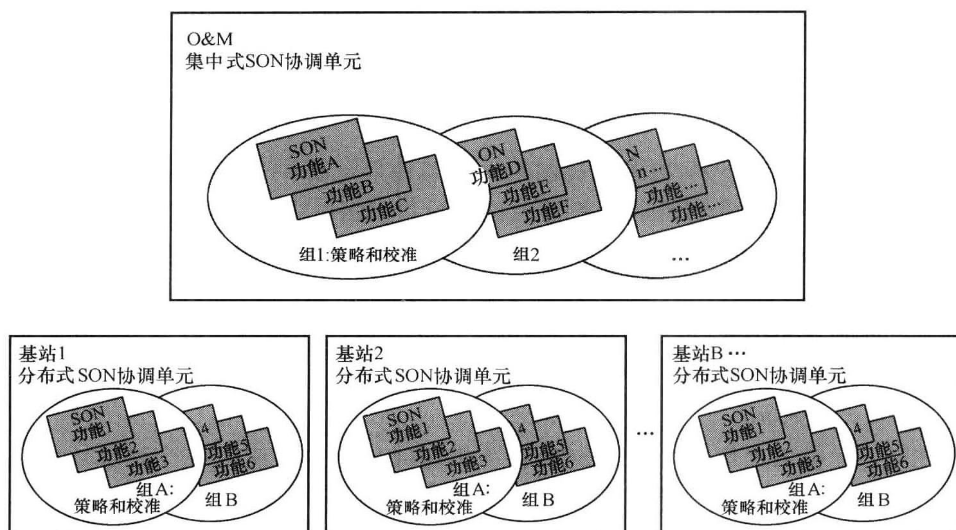


图3.6 模式协调SON功能的分类

3.2.3.4 实施的考虑因素

如前面所述，对SON功能进行管理必须通过分类，以简化实施策略、校准、自认知和防护功能。关于如何获得有效的SON管理，有两种可选的实施方案：

1）在第一种方案中，所有的协调信息都位于SON功能模块以外保留在独立的模块中，且模块间互不相关。图3.4描述了一个概念上的SON协调单元，需要考虑组成部分和功能，它还描述了这种实施方案的选择。这种选择很自然地意味着含有大部分信息的策略、校准、自认知和防护模块已经包含于SON功能之中。以一个校准模块的例子阐述：如果校准模块解决了一次由两个SON功能改变同一参数产生的冲突，如果在每个冲突的SON功能中都考虑了修改参数所带来的影响，那么这样的判决是恰当的。例如，如果SON功能执行的优化基于代价（处罚）函数，其中不同的代价函数针对不同的SON功能，那么由参数的变化带来的相关代价函数的改变可能会有本质上的不同。因此，来自于校准模块的判决将证实SON功能参数的变化，而它的相关开销变化更大。这将意味着校准功能可以从代价函数获知信息，一般而言，包括每个SON功能大体上的优化、规划和愈合逻辑。于是有以下结论：利用独立协调模块的方法必须经过谨慎地设计，以避免逻辑重复，也为让SON功能和协调代理之间的相关特性在不以性能为代价的情况下具有清晰的分层间距。

2）第二种方法就是实施协调逻辑的SON功能（例如，同步），这样的SON功能将以混合形式出现。它们将包含单一的SON功能逻辑，伴随着对目标参数的联合影响。所以，通过预设计的流程，将使在单一SON功能之间的合作更方便，进而冲突将自然地考虑每个并发SON功能（例如，常规ANR和移动性优化）的内部逻辑。

3.2.4 集中式多无线制式SON的分层架构

本节会给出一个多无线制式SON的参考架构。一个分层的架构方案可用来为相关任务提供清晰的分层间隔，为每一层清晰地明确任务。此外，集中式SON架构具有明显的包含多设备商和多无线制式的优点，这个架构将以集中式为示例[⊖]。SON解决方案在框架架构方面的实际实现将不同于这里所展现的，但此处描述概念和功能的目的在于提供一个模型，在这个模型上可以进行比较和分类。这个架构在图3.7中有描述。

3.2.4.1 网络层和支撑系统

模型中最底层是网络层和支撑系统层，它们独立地存在于集中式SON系统中，可能提供SON相关的信息（例如，SON标准化文档中定义的特殊性能计数器），但是在除了LTE以外的接入技术中并非如此。通常对于一个集中式SON系统来说，虽然网络层和支持系统层包含于这个架构中，但是它们并不是SON系统的一部分。网络层所包含的网元，既是无线通信系统的一部分，同时又是SON功能的优化对象。网络层同时还包含了能够用于管理NE的操作系统，即网元管理(EM)。5.13节对这些网元进行了描述。网络层的设备来自于不同设备商的不同技术。SON系统跟网络层之间的交互在四个独立的区域，参照图3.7中靠下部分的解释：

1）CM写入和管理：必须对CM数据（网络参数）进行管理，并且能够对它修正。不同的SON功能可能需要改变网络的配置（改变参数、管理对象，例如创建一个新的邻区关系等），或者需要执行复杂的CM功能（例如，退回到预定义保存的配置）。

2）CM读取：现实网络的拓扑数据和配置数据将作为SON功能的输入参数。

⊖ 在本书中，没有对在2G网络的BSC和3G网络RNC中运行SON算法的可能性进行特别地考虑。然而，实际上，这些场景跟分析过的集中式部署十分类似，有如下不同点：①当运行到离基站较近的时候，算法可以对网络的变化进行更快的反映；②当在网络架构较低的层上运行的时候，可以看到仅限于较少数量的网络节点，这可能会在相邻BSC/RNC之间的边界处导致校准问题；③SON算法在BSC/RNC中的实施会使得支持有效的优化策略非常困难，其中这些优化策略涉及来自不同无线接入技术小区的性能指示和参数的互相关。它还会导致部署第三方SON解决方案变得困难。

3）PM/FM读取：现实网络信息，诸如PM数据（例如计数和呼叫跟踪[⊖]）的性能信息和系统警告的差错管理（Fault Management，FM）数据同样可以作为SON功能[⊜]的输入参数。

4）PM/FM管理：性能测量和警告必须得到管理（初始的、配置的、暂停的/停止的等）。为了实现这个，EM提供了必需的功能[7]。

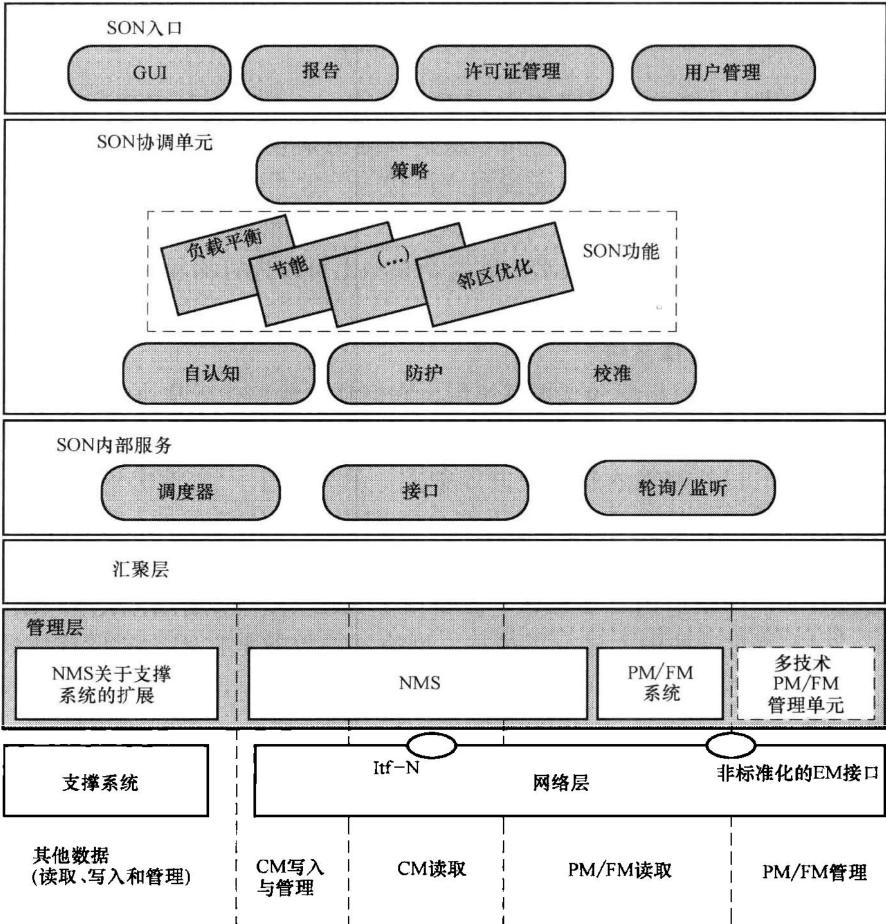


图3.7　集中式多无线制式SON架构

就像5.13节所说，网元管理服务是通过标准化的北向接口（Northbound Interface，Itf-N）来提供的，虽然网元管理也可能提供其他非标准化接口，并通过管理

⊖　把呼叫追踪数据归类为PM数据。

⊜　在3GPP TS 32.401[6]中，系统警报包括在部分PM数据中。然而，性能管理和差错管理中的相同文档也会有所区别。本书通篇把系统警报归类为FM数据。

层进行使用（见3.2.4.2节）。

支撑系统层包含了所有不属于网络层的系统，可能需要跟SON系统一起进行交互工作（例如，读取、写入和管理），诸如规划数据库（基站信息的固定位置、天线类型和方向等）、传播路径损耗预测、计费系统、费用数据记录㊀（Charging Data Record，CDR）等。图中的数据域被标记成了“其他数据”。

3.2.4.2 管理层

管理层将那些为网络层提供不同管理服务的系统包含在一起。这样的系统可能属于SON系统的部署，或者可能在之前就存在了。因此，网络层中不同设备商和不同技术所提供的管理服务可能有所不同。此外，非SON应用也可能会使用那些管理服务提供的接口，因此这些接口并不是只针对SON功能。在每个数据域中，系统涉及的管理层如下：

1）NMS提供一些功能，包括执行CM变化，读取CM和拓扑信息，执行其他CM管理任务，例如一致性增强等。关于NMS功能和其与SON功能交互的详细内容，读者可以参考5.13节。然而，高层直接使用EM接口（跳过NMS）也是有可能的；但不建议采纳这种方案，因为SON功能可能导致NMS中的配置数据存在潜在的不稳定性（5.13节会进一步阐述）。当然，如果NMS不可用，或者如果它给高层提供不合适的服务，那么就不得不通过接入EM层来解决，为了简便没有在图3.7中描述出来。虽然在没有独立的NMS的情况下，也可以选择部署一个集中式SON系统（例如，在涉及少量应用场景的部署），但是由于考虑到NMS系统的重要性以及能为多设备商和多无线制式CM功能提供行之有效的架构，因此在图3.7还是包含了NMS层。

2）NMS能通过扩展来提供用以管理支撑系统的接口。这是由于支撑系统本身就具有变化的特性。

3）能在NMS系统或者专用的PM/FM系统（由基础设施设备商、专用设备商和内部设备商开发的）中实现PM/FM功能，例如存储、恢复、高峰时段计算（仅针对PM）、对象、集合体等。假设前提PM/FM数据存在于数据库中。

4）就像上面提到的那样，PM/FM管理（例如，测量计数器和呼叫追踪的激活/取消激活）驻留在EM层中。由于EM层并没有为外部应用提供接口来管理PM测量和警报，因此在SON系统中建立接口来处理PM/FM管理是不可行的。图3.7中的相关功能实体是用虚线表示的，并标记为“多制式PM/FM管理单元”。

3.2.4.3 汇聚层

汇聚层的目的是确保管理层提供在每个领域提供的服务对于SON功能来说都是可行的。“可行”意味着对于网络层中所有的设备商和技术来说，在操作方面都

㊀ 依据3GPP TS 32.298[8]，在本书中，把CDR归类为费用管理数据或者账单管理数据。

存在协调一致的接口（例如，针对数据检索的相同数据库引擎和模式，针对PM管理的相同接口），还意味着这些服务满足了下述领域的SON功能需求：

1. CM写入和管理（详见5.13节）

1）安排参数变化请求（例如，CM的修改）。

2）在CM修改之后，确保EM层和NMS层之间的管理信息库（Management Information Base，MIB）的一致性。

3）支持回退功能，即退回到预定义的配置的能力。

4）当参数和所管理的对象步长改变时，能获得这些改变的信息（例如，确保参数变化请求的成功实施）。

2. CM读取

1）检索所期望的SM信息。需要足够的可用历史信息。

2）强制更新NMS MIB以保障随后在运转的网络中进行的CM检索操作。

3. PM/FM读取

1）为所选择的对象和时间周期检索PM和FM（计数器、警报和呼叫追踪）。需要足够的可用历史信息。

2）支持监视近期的实时性能。

4. PM/FM管理

如果有可能，根据需要，在常规接口上进行性能测量和警报的管理。

5. 其他数据

从支撑系统中检索信息，例如传播路径损耗预测、路测、杂波和地形信息、天线波瓣图等。

如上面所述，值得一提的是独立的汇聚层依赖于单独的NMS层，虽然在特定的环境下并非如此，但它是针对多设备商和多制式的集中式SON最普通的架构方案，因此在本节中进行了讨论。

汇聚层必须支持管理功能，这个管理功能允许管理数据库和监视采集功能等。

汇聚层的详细功能依赖于管理层提供的服务。同样地，SON功能针对汇聚层的详细需求依赖于SON算法本身。最后，如5.14节所述，在不同设备商之间执行进一步的标准化是可能的（例如，根据语义的标准化将计算与设备商无关的KPI、参数等）。对于那些难以标准化的设备商特定的信息，设备商特定的子功能需要包含在SON功能中。

3.2.4.4　SON内部服务层

这一层为SON功能提供潜在的服务，例如一个应用程序接口（Application Programming Interface，API）访问汇聚层封装的数据。同样地，这一层还包含了调度

能力，它可以递归地执行 SON 功能，并且当某些事件发生时，允许轮询/监听机制以触发 SON 进程。

3.2.4.5　SON 协调单元

一个 SON “功能管理器”，即在本章所述的 SON 协调单元（参照 3.2.3 节），它支持管理、配置、调度和 SON 功能的执行。实际的 SON 算法在 SON 功能中执行，每个 SON 功能负责一个特定的 SON 应用场景或者负责应用场景中一小块独立的部分（负载平衡、节能等）。在集中式 SON 系统中，SON 功能可能会整合成一个混合流。一个流是涉及若干 SON 功能的一个进程[⊖]。流描述了在合适的控制流机制下（循环、控制执行等），关于 SON 功能执行的一个有序的进程。

例如，在一个特定优化任务（例如邻区列表优化）之后，通常期望对 UMTS NodeB 完成一个一体化的优化操作。因此，在进行模块化设计时，可以为新的 NodeB 集成定义独立的 SON 功能，为邻区列表优化定义另一个，并且可以把这两个组合成一个特定的流。在本书中，新的 NodeB 集成、邻区列表优化和组合流可以作为单独一个 SON 功能来实现，并且 SON 协调单元可以配置、管理、调度和执行这些 SON 功能。例如，可以配置一个周期性（例如，以日为周期）的过程来优化邻区列表。当分享相同的内部逻辑时，在新的 NodeB 集成中的邻区列表优化可能是基于对电波传播的预测（例如，在开启这个 NodeB 之前，定义一个初始的邻区列表），而这个以日为周期的功能可能会利用性能计数器和/或呼叫追踪。

3.2.4.6　SON 端口

SON 协调单元和 SON 系统提供给终端用户的功能是通过 SON 端口实现的。SON 端口实施图形用户接口（Graphical User Interface，GUI）和支撑功能，诸如用户管理、许可证管理和报告。SON 端口使用户能够为整个网络配置和管理集中式 SON 系统。可以把网络分为若干范围或者地理区域；每个区域可以独立地进行管理。关于 SON 端口提供的服务，下面举一些例子：

1）允许远程安全地接入用户（例如管理员），最好是通过网络接口。

2）对于 SON 系统和网络之间的所有接口，支持用户对其进行配置，以便支持从所有可用源（CM、PM 和 FM 数据）上进行数据采集，同时为了支持对参数变化指令的执行。

3）允许用户激活/取消激活 SON 功能和应用场景，针对用户激活 SON 功能和应用场景的时间（持续的、周期的、事件的）和地点（例如，把特定的网元和区域排除在外的能力）允许用户进行控制。

4）允许用户为所有的 SON 功能提供高层策略、方案和参数设置。

5）提供所有激活的 SON 功能的实时状态（例如，激活和去激活）。

⊖ 可以让 SON 功能本身是可用的，例如，通过一个功能库。

6）对于前面提到的 SON 功能的执行和执行成功与否为高层提供其状态报告。这包括允许访问日志文档并显示收到相关 SON 功能影响的 KPI。

7）实时地或尽量实时地监控那些受到运行状态下 SON 功能影响的 KPI。

参考文献

[1] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects, (2010) *Self-Organizing Networks (SON); Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.500 Version 10.0.0, Release 10, 18 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.500/32500-a00.zip (accessed 3 June 2011).

[2] Prehofer, C. and Bettstetter, C. (2005) Self-organization in communication networks: Principles and design paradigms, *IEEE Comm. Mag.*, **43**, pp. 78–85.

[3] SOCRATES Project (2010) www.fp7-socrates.eu (accessed 3 June 2011).

[4] Schmelz, L.C., Amirijoo, M. et al. (2011) A Coordination Framework for Self-Organisation in LTE Networks, *IEEE IM 2011 Conference*, pp. 193–200, May 2011.

[5] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP); Requirements*, 3GPP TS 32.521 Version 9.0.0, Release 9, 6 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.521/32521-900.zip (accessed 3 June 2011).

[6] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Performance Management (PM); Concept and Requirements*, 3GPP TS 32.401 Version 10.0.0, Release 10, 8 October 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.401/32401-a00.zip (accessed accessed 3 June 2011).

[7] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Principles and High Level Requirements*, 3GPP TS 32.101 Version 10.0.0, Release 10, 8 October 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.101/32101-a00.zip (accessed 3 June 2011).

[8] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Charging Data Record (CDR) Parameter Description*, 3GPP TS 32.298 Version 10.2.0, Release 10, 8 October 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.298/32298-a20.zip (accessed accessed 3 June 2011).

第 4 章　多无线制式的网络自规划

Josko Zec、Octarian Stan、Rafael Ángel García、Nizar Faour、Christos Neophytou、Khalid Hamied、Juan Ramiro、Gabriel Ramos、Patricia Delgado Quijada、Javier Romero 和 Philippe Renaut

4.1　2G、3G 和 LTE 自规划的必备条件

网络规划是指为新添网元进行关键参数设定的过程，包括站址和硬件配置[1]。自规划的含义是自动完成该网络规划过程，以减少相关成本与运维开支。这可以通过高度自动化的功能和相关通信模块来实现。自动化的程度取决于规划过程中使用到的功能和模块。本章会使用一系列的案例来对此进行说明。下面列出实现自规划的基本要求。

1）精确的模型和输入数据：规划过程一般会用到传播路径损耗预测、业务量预估、呼叫模型、业务空间分布等工具。利用路测数据、运营支撑系统（OSS）性能计数器和移动终端测量，对模型进行调整和校准，可以提高其精确度，详见 4.5 节。

2）最优化的导出参数设置：应运用数学优化工具来获得最适宜的参数。设置值应该取那些可以提供最佳结果的量，详见 4.4 节。

3）自动化：能够激活新的网元，使其能够自动获取相应参数并完成参数的设置。

4）多供应商：指新加入的网元能够根据供应商确定相应的参数设置，并且可以生成基于该特定供应商的命令激活新的网元，使获取的参数值生效。

5）多无线制式：能够分别或者同时处理所有无线制式的能力。对给定某种无线制式的某些参数设定的选择可能会影响其他无线制式的性能。在多无线制式覆盖网络的规划过程中，各无线制式的容量和质量都必须联合考虑。

4.2　自规划的多无线制式约束

使用了不同无线制式的网络经常会设计在同一地理区域进行联合覆盖，保证可提供的整体业务和服务的质量与容量。共存的这几个无线网络就需要更加仔细规划。一般来说，使用不同无线接入制式的各无线网络（例如 GSM、UMTS 和 LTE）

通常可以共享站址，有时也会复用发射和接收天线。一种无线制式的覆盖范围及其容量设定，会影响其他无线网络的性能。下面是一些多无线制式约束条件下的规划例子：

1）天线共享：规划过程中，需要获得新网元天线的配置信息（例如方位角、物理倾角和电子倾角）。如果不同无线接入网络共享天线，则在规划过程中这些无线网络的覆盖范围、容量及服务质量就应该纳入到考虑范围之内。例如，对新网元天线设置的建议值不应该导致其他无线网络性能退化到超出允许或可接受的阈值。

2）业务共享：规划新的网元时，我们会对不同无线接入制式的业务划分做出假设。新无线网络的规划覆盖范围和容量应与现有无线网络保持一致，并且应考虑到可能会出现的网络间的业务转移（例如，受限于终端的能力），从而避免在新基础设施上过度投资。

4.3 自规划的完整过程

自规划过程如图4.1所示。规划阶段的第一步是自动探测网络中需要增加新的站点。这可由以下两种方式来实现：

1）主动的方式：依据业务预测和详细的系统模型，基于预先设定的方案实施。

2）被动的方式：基于对系统覆盖、容量及服务质量的监控，满足预定义的条件时触发网络扩容。这需要反馈进程一直处于工作状态。

不论是用业务预测还是系统实时监控的方式，多无线制式的网络自规划都应能够提供使其能实现的所有必需功能。确定部署新增设备时触发的配置规则的流程也是必需的。监测的关键性能指标（KPI）的详细定义和应用规则依据不同的无线接入网络而不同。

确认需要新建一个站点后，相关射频（RF）参数的设置和站址选择用下述流程确定：

1）射频规划：指包括天线类型、方位角、物理倾角、电子倾角等天线设置和新扇区的发射功率在内参数的过程。射频规划需考虑目标覆盖、质量和容量等高等级KPI目标的加权组合。若出现多无线制式约束情况（例如不同无线接入网络共享天线），规划流程需同时考虑所有被影响到的层。

2）选址：指确定站点位置的过程。通常会从候选列表中选择最优的一个。选址也需要考虑一些高层KPI目标的加权组合。

尽管射频规划和选址是两个独立的过程，但经验表明选址需要与新站点天线的设置同时进行，周围站点的设置亦是如此。

射频规划和选址的计算过程需要传播环境的反馈信息。最简单的方法是用传统

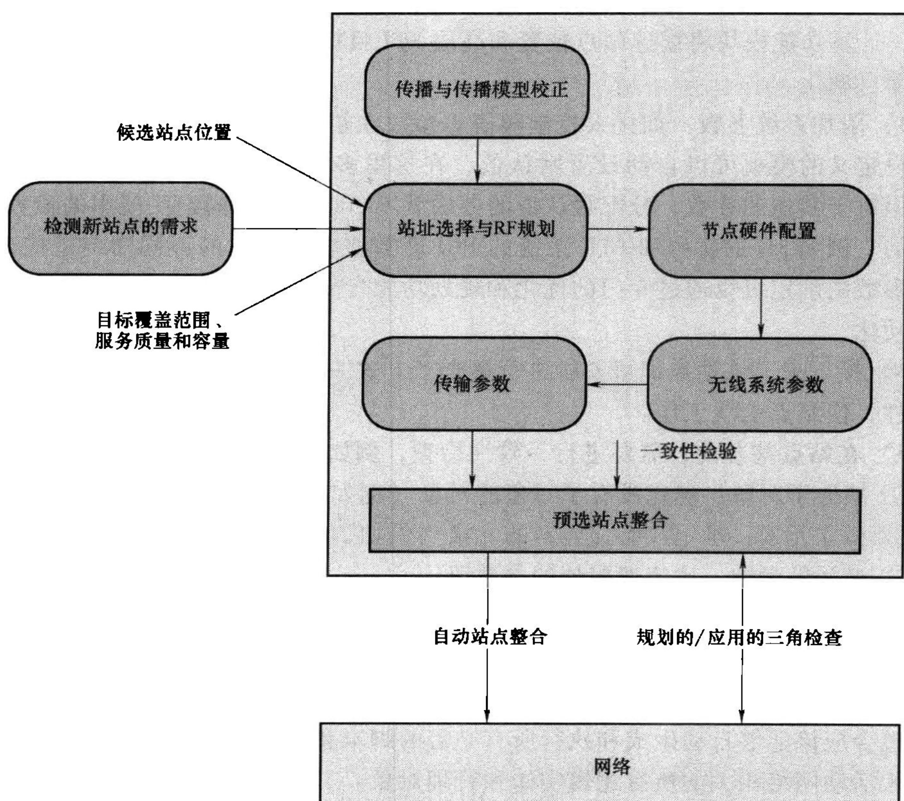


图 4.1　自规划的综合过程

的传播预测模型，可以利用一些惯用的优化方法结合路测数据对模型进行校准。

在确定新站点的位置和射频参数后，下一步是确定要部署的基带硬件容量（模块化的设备配置），该过程通过借助先进的模型自动确定，模型应考虑各网络节点要处理的业务以及不同供应商对模块化硬件架构的约束。

此外，在新站点上线工作前，需要自动地合理规划一些额外的系统参数。这些参数取决于使用无线接入网络的制式。对 2G 来说，包括功率设置、频率规划、基站识别码（BSIC）配置、邻区列表等。在 3G 的情形下，这些参数集合涵盖公共导频信道（CPICH）功率、3G 与 3G 及其他无线接入技术间（inter-RAT）的邻区列表、扰码等。对于 LTE，规划阶段需考虑 LTE 网络及与其他无线网络间的邻区关系列表、物理小区标识（PCI）、资源块分配、小区间干扰协调（ICIC）阈值等。

如下所示，规划过程可通过下述步骤实现高度自动化：

1）检测是否需要新的站点，可以根据容量和覆盖因素，依靠自动化的功能触发网络扩容。

2）当检测到需要新建某站点时，负责确定射频参数和站址选择的相关功能被开启，计算功能模块将候选站点位置和高层KPI目标作为输入变量。这一步可以实现高度自动化。

3）附加系统参数：如接入控制阈值等参数在初始化时可直接设为默认值。使用用户定义的模板可以自动设置默认值，在这里多个模板用来区分不同的小区类型。但对于其他的参数，分配默认值的办法就不再适用，不同扇区使用的参数也是不同的。例如3G的扰码和LTE系统的PCI即需要根据扇区的不同而自适应确定。这些参数的确定可以通过专门的优化和规划功能自动完成，因此这一步可以实现高度自动化。

4）接下来，该站点即可安排进行整合了。这一步需要人为参与来选择时间安装硬件，使站点上线工作。

5）在站点整合前，需要进行一致性检查，例如：

① 缺失子对象：确定没有子对象的对象（例如，没有小区的站点）。

② 孤立元素：确定没有父元素的元素（例如，没有站点的小区）。

③ 遗漏的参数：确定遗漏掉的参数值。

④ 确保内部一致性同时符合运营商的配置规则。

当这些问题显然不能自动解决时，这一步就需要人为干预了。

6）利用自动过程或功能将新站点整合进网络中。这一功能被称为站点整合。站点整合应该能够自动生成和执行所有必需的脚本和命令来创建与激活站点，并使其融入活动网络相关的所有逻辑实体和管理对象。

7）最后，找出规划参数值与实际网络部署值之间的不同，然后将其改正。

4.4 规划与优化

规划和优化是移动无线通信工程中的两个非常关键的领域。传统的移动运营商通常将其分为两个独立的部门。尽管在组织上是分离的，但对于某种给定的无线网络技术来说，规划和优化过程中所应用的原则和所需专业知识却是相同的。不过，在关注的领域上两者还是有一定不同。主要差别是规划过程局限于有新小区待建的场景，而优化则专注于已经工作的小区和小区簇。本节的目的是消除本章其他讨论规划和优化的材料可能引起的混淆。

无线网络规划可以定义为确定新网络节点的位置、配置和设置参数的过程。无线网络规划的总体目标如下：

1）对目标区域进行足够的覆盖，确保满意的服务质量和低误码率。

2）提供低服务阻塞、用户满意的吞吐量和低掉话率的网络容量。

3）通过部署经济高效的网络基础设施来保持盈利（即用最少数量的站点和收

发单元来满足覆盖、质量及容量的需求）。

这些目标是借助选择合适的站点位置和小区设置参数完成的，包括天线模型、天线挂高、天线方向（方位角和倾斜角）等。规划的下一步是确定无线制式所特有的相关参数，例如：

1）GSM：广播控制信道（BCCH）和业务信道（TCH）频率、基站色码（BCC）、跳频序列号（HSN）、移动配置指标补偿（MAIO）等。

2）UMTS：公共导频信道功率、主扰码（PSC）等。

3）LTE：物理小区标识号、下行信道（DL）和上行信道（UL）分配的资源块等。

为新站点确定邻区列表也是规划过程的一部分，尤其对 2G 和 3G 来说。其他众多的标准化参数和因厂商而异的参数通常在铺设时设定为指定值，并且随着小区运行和 KPI 指标可用时进行不断调整。良好的规划体现在用户满意、网络盈利（基础设施成本低）和网络部署完成后的优化工作更容易等方面。

无线网络优化的定义是用一系列步骤和措施来改进或维持一个已经处于激活状态的无线通信网络的性能。覆盖范围、容量和服务质量的任意组合都可以作为性能改进的标准。优化的终极目标是与规划一致的：通过预防和解决投诉来使用户满意，同时避免由于扩建而投资昂贵基础设施和增设新的站点。达到这个目标的一般途径与规划是相同的：选择合适的设置参数。

除了在范围和目标上的明显重叠，另一个导致混淆自规划和自优化的原因是两者都依赖实用和用户定制的数学优化技术。这些技术（包括对配置空间、成本函数和搜索策略的定义）均应用于网络规划和网络优化中。澄清这个问题的关键之处在于理解基础的优化技术与优化过程间的差别。优化技术通常用于网络自组织中自动得到小区参数值，然而如果是在运营阶段之前使用，它们会被视为规划的一部分，而如果应用到已经运营的小区和小区簇中，即会被称为优化过程。

如此一来，对优化技术的讨论在大部分时间可以穿插在规划和优化阶段间，只是规划新的站点与优化已存在站点两种情形下自动方案的数据来源有明显区别。规划新小区的过程主要依靠传播预测和网络模拟，而优化已运营网络需要来源于运营支撑系统（OSS）计数器和呼叫跟踪得更为精准的输入信息。本章讨论多种应用在自规划中的优化技术，第 5 章会主要关注自优化中的优化技术。

4.5 自规划的信息来源

4.5.1 传播路径损耗预测

在移动无线环境中，传播路径损耗不仅依赖于距离，也依赖于自然环境地形、

人为建筑、天线高度和其他因素。在同样的环境下，散射源和反射源是随机分布的。所以，某一给定距离的路径损耗值是一个随机变量。它的平均值和方差很大程度上依赖于当地的地形特征。通过估算发射端到接收端的传输路径损耗来计算接收信号强度、干扰和信噪比。传播路径损耗信息对于获得新站点的大多数射频参数很重要。计算传输路径损耗估计值即传播路径损耗预测。

现在有一些传播路径损耗预测模型，比如Hata[2]、COST231[3]、Lee[4]等。这些模型是建立在经验方法基础上的，所以它们会在不同的环境和不同的射频下用不同的参数来对路径损耗建模。这些数学模型通常不够准确，需要用路测进行校准。

4.5.2 路测

路测是测量和记录多组来自不同地理位置的发射端的接收信号强度的过程，这通常由一辆载有测量仪器的车来完成。该测量仪器可以扫描多个发射端，测量并记录来自活跃发射端的接收信号强度。路测仪器也提供全球定位系统（GPS）信息来进行位置登记。

相比于传播路径损耗预测，路测非常准确，而且可以通过多种方法应用到规划过程中：

1）单独运用路测：如果新节点没有开启，通常一个连续波发射机将会从节点位置和发射中心（高度）发射一个没有调制的载波。这种方法复杂而且代价高，但是如果这个新节点与使用另一种无线接入制式（比如现有的无线网络）的站点共享站址，在现有的无线网络中，路测可以连同天线调整一起来测得新节点的传播路径损耗。天线调整的过程是用增益计算来从测量的信号强度中剔除在现有的无线网络中对应传输天线的天线增益，从而归一化接收信号强度。

2）路测可以与传播路径损耗预测相结合来校正预测的数据。结合平滑化和在测量数据点间的二维智能插值可以校正预测数据。这种结合的数据集（比如在有路测点的路段进行路测，在其他地方对路径损耗数据进行校准）具有较高的正确率。

3）调整传播模型：调整路径损耗预测模型的参数使预测值和测量数据之间的误差最小化。根据不同的环境和地形来调整参数，从而提高传输预测的准确性。

4.6 自动容量规划

容量规划被定义为计算物理、硬件和传输资源的科学和艺术。这些资源在一定的时期内以期望的服务质量（QoS）来为预测的业务进行服务。容量规划非常关键，因为它决定运营商投资的深度和广度，明确地指出何时与何地新的资源需要被部署。不足的网络资源会对预计的服务质量产生负面影响，同时不必要的过度投入

会危害到运营商的经济利益。

在现实中，这些计算不仅用于新服务区域的网络部署，也用于加强现有的基础设施来保证整个网络所预期的服务质量。同时，这些计算还会影响运营商在市场中的主动性（比如发布一个特别有吸引力的手机）或是业务框架的变动（比如因为关税降低而增加数据量）。

在当今的网络中，特别是具有爆炸性增长的移动宽带业务的网络，利用端到端的方法来进行容量规划是非常重要的。运用足够详细的计量方法和模型来准确表征无线接入网、传输网和核心网的资源需求非常重要。类似地，该过程需要考虑网络中传输的服务特性和它们相关的服务质量需求，这一点也非常重要。

传统的容量规划技术过去依赖于基本的、被广泛接受的分析模型，比如 Erlang-B 或 Kaufman-Roberts[7]。这些模型可以用有限的输入数据和大量的假设和简单的归纳通过电脑电子表格轻易地应用，但是不断增加的系统复杂度和服务版图的变化特性使我们倾向于更加先进和复杂的方法，这些方法完美地与网络自组织典范下的自规划范畴的一些需求相匹配。除了从自动容量规划中获得明显的操作开销节省外，运用这些技术可以获得以下3点关键的好处：

1）通过技术上更加过硬的决策过程，获得精简的资本支出。

2）协调整个网络的投入。

3）通过一种手段（过程本身）来明确地证明容量扩充需求。

总体上，有两种容量规划的方法（见图4.2）：

1）被动的方法：连续监视 KPI，当某些 KPI 不达标时，触发选择性的容量扩充过程（比如当给定区域的某个连接 lub 链路或是无线负载因子超过某门限值时）。

2）主动的方法：分析当前的网络性能、预测业务量的增长以及何时何地需要容量扩充。必然地，这个方法与预算估计有紧密的联系。

在这种场景下，现有的网络具有典型的多厂商和多无线制式的特性，这使得有效维护、配置和扩展网络更具有挑战性和复杂性。为了在这种环境下便于自动容量规划，厂商特有的数据采集过程很有重要，它提供实际的分析和具有统一输入的尺寸引擎。在这个过程中，一些容量规划函数会以一种统一的、销售商不可知的方式来对待，虽然特定的、本地建议的产生需要一些销售商标识的特殊特征。此外，当应对多无线网络场景时（例如 GSM、UMTS 和 LTE 共存场景），这里有重要的方面需要考虑，比如系统间的业务共享和无线网络间的移动模式。除明确规定外，本节都用销售商和无线网络不可知的方式阐述自动容量规划的关键内容。

4.6.1 自动容量规划的主要输入数据

数据收集需要完全自动，信息必须直接从运营商的主要配置和性能数据库中收集，保证可靠地、快速地、周期性地和频繁地更新。因为这个信息通常分布在不同

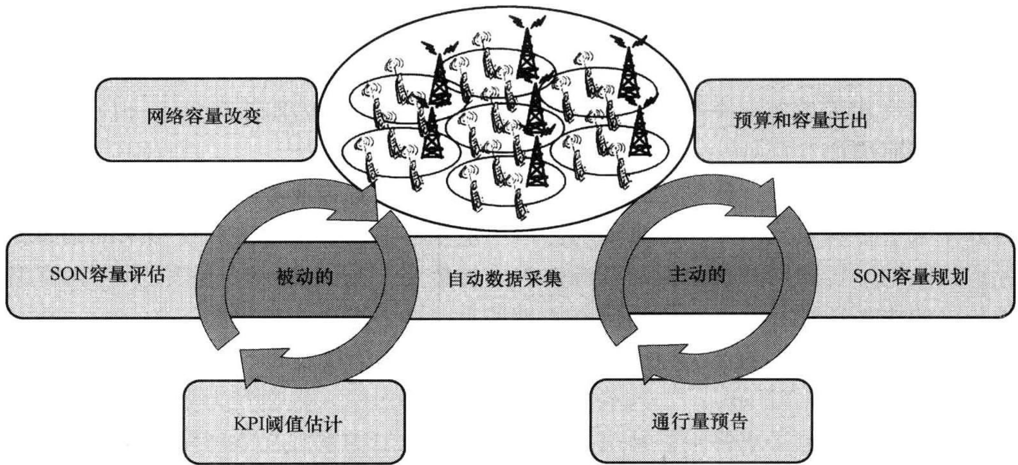


图 4.2 被动和主动的容量规划

的系统和数据库，数据收集的过程需要统一所有参与的来源和保证它们的一致性，从而建立一个可靠的、端对端的移动网络的详细目录。

用于自动容量规划的重要输入数据如下：

1. 网络物理拓扑结构

对于现存的网络，网络物理拓扑结构信息可以自动从 OSS 获取。这个信息需要来自运营商的规划数据库的额外数据输入来补充，从而捕捉未存在的、规划的网元。网络物理信息对于定义逻辑接口和网络等级特别重要，它们是分析无线接入网和核心网容量的重要数据来源。所以，它们需要周期性的更新来跟踪所有增加的网元或者转换主机操作。

2. 网络配置

配置参数对容量有不同程度的影响，比如无线电收发机的数量、2G 网络的信道配置和 3G 网络信道元素的数量。这个信息也可以从 OSS 获取。每个销售商定义自己的一套配置参数，一些参数是标准化的，而其他是与销售商特定特性相对应的。

3. 当前的网络负荷

这是容量分析最重要的信息。网络负荷包括所有的度量标准，它们可以间接或直接参考网络设备的容量限制。一般地，这些度量标准通过业务量（Erlangs 或者 kbit/s）或者活跃的用户数来定义。从这一方面来看，运营商的策略和潜在服务等级协定将会决定不同分析方法的综合水平，比如它们有多详尽。因此，业务可能或不可能分为不同门类（语音、网页浏览、视频流等）或者服务类别（实时、非实时、后台等)。类似地，活跃的用户可以分为不同的门类，如非常重要的用户、漫游者、预支付的用户等。

4. 网络设备容量限制

通常由运营商基于设备销售商说明书或产品目录来提供。网络每个部分（射频、无线接入网和核心网）的容量限制的具体内容可能不同。下面提供一个可能的总体分类：

（1）硬容量限制

直接依赖于硬件空间（安装的网元卡或架子）、接口容量或是网络设备的地面空间，例如：

1）射频：每个 GSM 操作台的收发机的最大数量，每个节点信道元素的最大数量。

2）无线接入网：Abis E1/T1 链路的最大数量，每个基站控制器的数据包控制单元的最大数量。

3）核心网：每个 GPRS 服务节点的最大数据包处理单元的数量、每个媒体网关的代码转换器卡片的最大数量。

（2）软容量限制

它们为一些参考服务的混合和特定的用户配置文件，特别是分析时存在于网络中的文件，而具体确定。软容量限制的例子有：每个基站控制器或无线网络控制器的忙碌时间呼叫尝试的最大数量、7 号信令系统的信令最大负荷或是中央处理器的最大利用率。硬容量限制可以在设备销售商的文件中轻易找到，软容量限制，无论由基础设施运营商何时提供，总是与特定的测试环境条件相联系。在其他一些案例中，网络运营商基于历史数据来计算真实的软容量限制。

5. 运营商特定的网络特性

这些特性由不同基础设施运营商通过专有的方式引入。它们对网络容量的限制有直接的影响。对于自动容量规划，非常重要的是在所提供的容量增加情况下，在每个网络区域辨别这些活跃特性，自动收集它们相关的配置，对参数应用一个技术完善的模型。标准特性的例子是，在 GSM 中引入半速率或自适应多速率。EGPRS 中 GSM 演进的数据速率增强（EDGE）调制和编码策略或 UMTS 中支持的高速分组数据（HSPA），其中每个个体厂商提供自己专有的设置和实现方法。

4.6.2　业务和网络负荷预测

实施合理容量规划过程的第一步是确认目标网络的负荷，为此需要一个预测过程。为了获得较满意的预测精度，需要考虑以下 3 个方面：

1）基于历史负荷样本对每个网元进行独立预测（从这个角度来看，扇区级推荐等级最低）。对于这个，可以采用不同的预测方法[8,9]。推荐使用的是基于滚动窗口的将季节变动模式考虑在内的技术（比如采用 Holt-Winters 算法[9]）。疑似高峰负荷推荐使用平滑过滤。此外，自学习，即在每个元素基础上对于算法设置自动

调整，会大幅提高预测负荷的准确性，如图 4.3 所示。

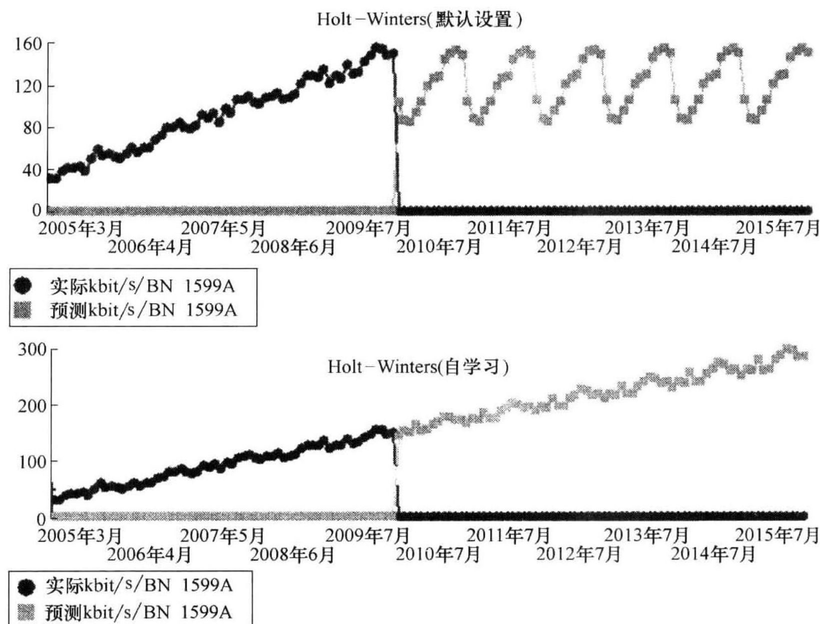


图 4.3 Holt-Winters 算法的自学习和原始预测的比较

2）为了进一步微调最后的预测数据，运营商的市场部门需要提供额外的信息。考虑将要发生的事件（比如新的关税、新服务的上线或是独家发布一个特别有吸引力的手机）也许会对以前每个元素的预测数据有很大的影响。

3）最后，很有必要考虑不同无线网络在空间上的重叠。在频繁重叠的情况下，基于不同的服务种类，运营商会根据优先级来选择相应的无线网络，因此，不同的无线网络对业务增长有一定的影响。

4.6.3 自动容量规划过程

为了描述自动容量规划过程，第一步是要定义驱使自动容量规划动作的触发源，同时设计相关准则，以便帮助运营商确定何时何地部署何种设备在网络中来处理容量问题。已经明确了 4 类主要场景：

1. 覆盖驱使的容量规划

主要目的是扩展当前的覆盖范围或是在当前的服务区域内提高射频的覆盖，即使容量没有用尽（比如因为运营商商业计划存在不同阶段，或是与管理者的约定等）。在这种场景下，驱使的衡量标准完全是射频覆盖分布，比如在 GSM 中接收信号水平、在 UMTS 中接收信号编码功率和 Ec/Io、在 LTE 中参考信号接收功率和参

考信号接收质量或是在某些负荷条件下达到的峰值吞吐量。另外，值得注意的是，有效覆盖范围的扩展会给系统带来更多的业务量，从而需要一些容量驱动的扩展，不仅是在射频端，也在无线接入网、核心网和传输网领域。

2. 容量驱使容量规划

触发容量扩充的主要原因是当前或是预期的容量缺乏，比如在保证一定的服务质量的前提下，网络中缺少足够的资源来处理当前或是预期的网络负荷。对当前或预期业务的容量分析需要在整个网络层次（射频、无线接入网和核心网）和所有无线制式的网络中进行。考虑到不同的无线网络，由于容量不足而引发的状况也不相同，比如：

1）在 GSM 和 GPRS 中，容量不足会引发在通话建立阶段或是切换过程中的掉话现象。同时，数据传输会减小到最少，导致平均用户数据吞吐量的性能降低，甚至在分组交换领域产生堵塞。也会有过多的信令负荷。

2）当 UMTS 接近它的容量极限时，过多的干扰会降低信道质量指示的数值，因为低的信噪比和过度的复用会导致 HSDPA 吞吐量降低，信道元素的容量也会用尽。在电路交换领域，堵塞会增加，R99 数据包业务（如果有）的数据率会不理想。

3）在无线接入网端，当系统过载时，接口（特别是“最后一公里” Abis/lub）很有可能会被阻塞，导致 EGPRS 吞吐量的降低，原因是在 UMTS 中缺少可用的资源[10]和服务质量下降（包括高延迟），特别是后台服务（非实时）。在一些特定的案例中，甚至信令接口和元素会被阻塞，从而导致掉话率的提升。总体而言，在实际情况下这些接口是否会阻塞最终会依赖于它们是否是系统的瓶颈。

4）在核心网端，当连接的用户数（包括 CS 和 PS）达到最大值时，会出现典型的阻塞状况。更确切的是，在 PS 核心网，这些限制通常与活跃的 PDP 文本数量和相关的数据吞吐量相关联，消耗 SGSN 和 GGSN 中的数据包处理单元容量（就 CPU 的负荷而言）。同样的道理，在 CS 核心网，限制来自于忙时呼叫尝试的次数和在处理的 Erlangs，与不同的编解码利用率关联。

3. 无线网络驱动容量规划

在这种情况下，运营商做出规划决定后，需要评价相关容量指示并相应地重新规划资源分配。运营商的规划包括推出新无线制式，在不同无线网络间重新分配频谱资源或是与业务份额相关。一些例子如下：

1）当引入新频谱或是与现存的无线网络在空间上有重叠的新无线制式网络时（比如在以前由 GSM 覆盖的区域引入 UMTS 或是 LTE），支持更加先进无线网络的地点会吸入很大份额的数据业务，这意味着当前无线网络的容量需要被重新规划，因为它们很有可能承载更低的数据业务（主要是语音）。

2）当将一部分频谱分给新无线网络后（将以前用于 GSM 的频谱给 UMTS，或

是部署LTE在原来用于UMTS的频谱上），GSM网络的容量将会降低，一些硬件或传输元件将会不再工作。在这种情况下，明确知道业务将怎样从当前无线网络分流到新网络中，从而提出相应撤销任务的计划非常重要。

3）在优化过程中（包括自我优化）当改变某些网络配置参数（比如iRAT切换设定）时，无线网络的（如3G）有效覆盖范围和相应的业务量会随之改变。最有可能的是，这会对各网络层次（RF、RAN、CN和传输网）的容量需求带来直接影响。

4. 市场驱动容量规划

与关税相关的容量扩充，发布一个特别有吸引力的移动产品或是在一个网络中引入新服务（杀手级服务或应用）相关联。在这些情况下，对业务增长预期时间框架的定义，对不同可能场景的考虑，这些场景反映出市场行动对实际通信量影响的合理不确定性，对正确预期和限定网络扩展大小非常重要。

以下内容会描述一些重要场景，它们与自动容量规划过程相关联，并需要正确配置。

4.6.3.1　时间框架和忙期定义

为了分析，在这个方法中一个很重要的标准与时间框架有关。被动式策略会着重于目前或短期网络负荷情况和当前网络资源。对于这个操作非常重要的是至少定义这个过程最短的预测周期，从而当容量扩充的需求被确定时，有足够的时间去请求和建立设备。主动式方法需要更长的时间框架，会更倾向于预算和中长期的规划。

另一个重要的方面是忙期的定义。在忙期时间段内，网络所提供的业务量决定了容量相关的忙期设计。合理选择忙期是一个重要的工程抉择。典型地，每个扇区的忙期会在RF端选择，而对于RAN分析（即BSC/RNC层面的忙时）和CN分析（即MSC/MGW/SGSN忙时），系统忙时会被选择。另一个有潜力的中长期规划的方法是明确周或是月累计的数据，即没有用每日通信量预测，而是用每个星期或每个月的业务样本来进行容量规划。在这些情况下，工程师需要决定使用整周或整月的忙时（一个非常保守的方法）还是用特定周或月每天忙时的均值。

4.6.3.2　经济限制

经济限制通常通过允许的预算限制这个过程。在这个场景下，为了最大程度利用可用资源，自动容量规划过程可以在允许的预算范围内定义推荐优先级。运营商决定优先级排序策略，这个策略很可能基于一些混合的性能因素（比如倾向性能更差的网络场点）、自己定义的标准（比如倾向于某些用户数据）、投资收益的考虑、商业/组织可见性（比如对高优先级合同的服务水平协定的影响）等。

SON的自动容量规划功能也要考虑自动执行相关动作的优先级，而且不需要任何亲临站点或硬盘扩容等人为干预（比如参数或配置设定的修改）。通过这个方

式，OPEX 和 CAPEX 数值会最小化。

4.6.4　网络容量升级的实现和此过程的输出

自动容量规划的结果是获取不同的推荐设置，并且最终目标是将它们实行到网络中。无论在何种可能的情况下（当然不会在每个场合中），可以自动实施某些推荐设置会非常有帮助，可以使 OPEX 在整个过程中保持很低。其他动作包括安装或拆卸硬件器件，这个不能远程完成。

4.6.4.1　RF 升级

在 GSM 中，一些推荐操作可以远程自动实现（比如重新配置有关 PS 领域的资源和扩展半速可用时隙）。其他动作，比如增加无线收发机或是升级某个操作台模型也许需要亲临站点和人为干预。

在 UMTS 中，容量相关的动作包括重新评估服务质量需求和设定（比如 Eb/No 目标值和保证的比特率）以及功率分配的重新设置（比如导频/信令和 HSDPA + 的功率），这个可以通过脚本和专用日程来远程实现。但是，其他动作，比如增加额外的信道元素，需要亲临站点和人为干预。

4.6.4.2　RAN 升级

在 GSM 中，Abis 容量需要基于真实的 LapD 信令和 EGPRS 资源消耗来合理界定。对于 UMTS 的 Iub 接口，准确界定传输容量、合理配置选择的底层技术，如异步传输模式虚电路和虚路径、因特网协议隧道等，非常重要。

关于 BSC 和 RNC，推荐使用负载均衡来提高整个系统的容量。这主要是通过实行重定位计划，这个计划根据站点和 BSC/PCU/RNC 间的关系来重新定义网络拓扑结构。但是，在很多情况中，需要对 BSC/PCU/RNC 进行容量升级。

4.6.4.3　网络升级

规划 CS 核心网络（MSC、MGW）时，其中一个重要的容量限制是 CPU 负荷参数，它主要依赖于呼叫尝试的次数以及正在进行的通话的数量。因此，每个平台需要规划出安全冗余部分来保证在预计的忙期内提供足够的服务质量，虽然最终会以建议对负载过重的元素进行容量升级而结束。此外，移动模式和相关过程（比如切换、地点更新等）会强烈影响 CPU 负荷。因此，当定义自动规划策略范围时，合理的邻区列表规划和地点区域边界的确定也非常重要。最后，对 SS7 号信令网络大小的建议也是一个典型的自动容量规划过程的结果，这包括 STP 平台和相应的 A/E 和 B/D 接口大小界定。

对于 PS 核心网络，一个典型的建议也许是升级 SGSN 和 GGSN 容量，主要在信令端（PDP 文本处理）或是在数据包处理端（依赖于探测到的过载类型）。在其他平台，短信业务也许需要特别关注，最终在短信服务中心甚至是 MSC 层面触发正确的动作。

4.7 自动传输规划

传输区域由不同的用于连接无线和核心网的技术和媒介组成。这一节所涉及的技术是在蜂窝小区中最常用的技术：IP、同步数字体系、ATM 和准同步的数字体系。表 4.1 是对这些技术的总结。

表 4.1　传输技术总结

技术	描述	主要用途	协议/特性
IP	网络协议	因特网和一般用途的网络	地址解析协议(ARP)、动态主机配置协议(DHCP)、开放最短路径优先协议(OSPF)、增强的内部网关路由等
PDH	准同步数字	层 2 协议，达到数 Mbit/s	N/A
SDH	同步数字	层 2 协议，最低速率为 155Mbit/s	保护环、SNCP
ATM	异步传输模式	UMTS 网络的基本传输层，在 PDH 或者 SDH 中常使用	ATM 网间网络(AINI)、私有网络间接口(PNNI)

人们有趣地发现早在提出和发展无线接入之前，SON 的概念就在传输网络中存在了。其中一个原因是，在传输网络中，经常有大的、网状的和连续变化的拓扑结构，有成千上万的连接需要路由。另外，因为有成百上千的连接也许集中在几个中继线（比如 MSC 之间的一个连接），在配置中的任何错误会对网络产生很大的影响。最后，几年前，根据变化因子（比如容量或是性能）创建静态路由的复杂性推动传输技术向自组织理念演进，这会在 4.7.1 节中说明。在表 4.1 中描述的协议和特性提供了很多自动化和自组织特性。

为了阐述这个想法，IP 网络中的两个例子可以在这里强调一下。首先，当在 IP 网络中放入一个新节点时，一个惟一的 IP 地址会被分配给这个新节点，一起分配的还有一些额外的参数如子网掩码、默认网关、名字、服务器地址、所有相邻节点的物理地址等。考虑到连接到因特网的 IP 节点的广泛性，用户人工配置每个端的这些参数并不实际。这些参数的一个错误可能导致网络一个区域无法正常工作。为了解决这些问题，人们开发了 ARP[11] 以及 DHCP[12]：它们自动提供所有配置参数给节点，这简化了连接到因特网上的本地设备的配置过程。

其他自组织例子有如 OSPF[13] 或 EIGRP[14] 这样的协议。它们基于网络拓扑结构、链路状态、失败等，自动生成路由表。这些协议的主要优点是它们的可扩展性，因为它们将网络划分为更小的可以相互交流的区域，将路由表和信令开销控制在可管理的范围内。其他技术，像 SDH/SONET 或是 ATM 有相似的自动配置特点，

这个将在后面谈到。

4.7.1　自组织协议

随着传输网络的扩展，人们为大部分的传输技术开发了相应的算法和协议。它们的主要目的是自动配置连接到网络中的节点，尤其是定义路由表。接下来将描述适用于 SON 概念的主要协议，每个协议可以应用的技术被写在了括号中。

4.7.1.1　**DHCP**（IP）

DHCP[12]利用的算法是提供给新建立连接的节点启动需要的配置参数。这包括 IP 地址、子网掩码、域名系统服务器等。在获得这些参数后，新节点可以没有人为干预地与因特网中的任意其他主机通信。

对于这个算法，DHCP 服务器使用 IP 地址资源池，它们会被出租给（或者暂时分配）接入的节点。客户用广播地址来请求配置参数。

4.7.1.2　**OSPF**（IP）

OSPF[13]是一个链路状态的路由协议，通常用在 IP 网络中。OSPF 是一个开放协议（它的说明可以公开获得），而且 OSPF 算法被安装在了每个 IP 路由器中。这个算法按照分布式形式进行自组织，在没有人工干预的情况下自动地工作，而且它可以快速适应网络中的任何变化。

建立路由表的 OSPF 路由策略由每个路由接口相关的链路代价或处罚因子（外部标准）来管理。代价因子可能是到路由器的距离（往返时间）、网络链路的吞吐量或是链路可行性和可靠性，由简单的无量纲的数字表示。

每条路由基于相邻链路的质量测量，建立一个不同候选路由和它们相应代价的数据库。这些测量信息通常会在网络中的节点间进行交互，允许这些节点用 Dijkstra 算法计算到目的地的最佳路由。

为了提高可扩展性，网络被划分为更小的区域，从而节点只需要知道在同一区域的其他节点的路由信息。区域间的路由计算由区域边界路由器完成。

OSPF 路由的主要优点是它能快速地适应网络中的变化。

4.7.1.3　（E）**IGRP**（IP）

内部网关路由协议（IGRP）[14]是另一个被广泛使用的协议。它用来自动定义路由，专属于思科公司。与 OSPF 相反，它是一个距离矢量协议，这意味着节点只与邻区交换全部或部分路由数据库。用来建立路由数据库的信息包括多种测量标准，比如带宽、延时、负荷、可靠性等。与 OSPF 相比，这个算法的主要缺点是它对网络变化的回应慢。

EIGRP 改进了这个协议，增加了链路状态算法的概念，优化了应答时间。

4.7.1.4　**PNNI**（ATM）

在 ATM 网络中，通过使用 ATM AINI 协议[16]，每个虚路径的路径特征参数可

以静态完成。但是，PNNI 协议[17]允许在 ATM 网络的每对节点间使用自行路由配置。

PNNI 与 OSPF 工作方式相似：节点有一个包含选择某条路由的代价的数据库。它也有分层结构，其中每个组中的一条路由被指定为代表来负责组间路由的更新。

4.7.1.5 保护环（SDH）

SDH 技术[18]是另一个 SON 的典型例子，因为它的设计是基于对通信的自动保护和修复，以防失败。另外，在 SDH 网络中的基本元素是环：一组节点连接在一个闭合环上，甚至是在链路失败的情况下，保持连接有效。因此，一个典型的 SDH 网络会包含几个相互连接的 SDH 环。

这里有两种类型的保护环。第一个类型是，多路区域共享保护环（MS-SPRing)，它自动选择最短路径发送信息。为了防止链路失败，数据反方向发送。第二种类型的保护环是 SNCP，它同时在两个方向发送信息。这个在要求的容量上效率低一些，但是有更高的鲁棒性和更能抵抗节点的故障。

4.7.2 自动传输规划的其他要求

虽然上面讲到的协议具备自组织特性，它们仍然有添加更多功能的空间。

1）一些技术没有之前提到的自组织特性，所以需要一个外部方法来获得自动的好处。例如，2G 接入传输是一个典型的 PDH 网络，它没有嵌入任何自动特性，如表 4.1 中展示的那样。

2）在多无线制式⊖多运营商的环境中，也许不可能用内嵌的自动配置协议来在不同网络之间通信。目前需要整合专用的需要手动配置的网关。

3）先前描述的算法都是以一种被动的方式工作的，这意味着它们只会在一个网络变化后起作用（比如链路失败或过载、新节点/链路增加等）。尽管很难预测网络可能出现的问题，通过用简单的预测算法，我们可以主动地和有效地预计和解决很多问题。

4）预测也可以帮助提前检测何时何地需要新的硬件设备，允许运营商获得和安装需要的设备，并提供所需的容量。

5）一个外部过程可以在改变网络之前用来评估不同假设的场景。比如，可以在从网络添加或移除一个节点之前考虑不同的选择。

考虑到运营商的传输网络通常包括多种由设备提供商提供的传输技术，安装新硬件所需的时间以及不断增长的通信量，增加带有预测算法的自动传输规划的过程会对整个网络管理的效率产生积极的影响。

⊖ 在这一特定背景下的传输技术。

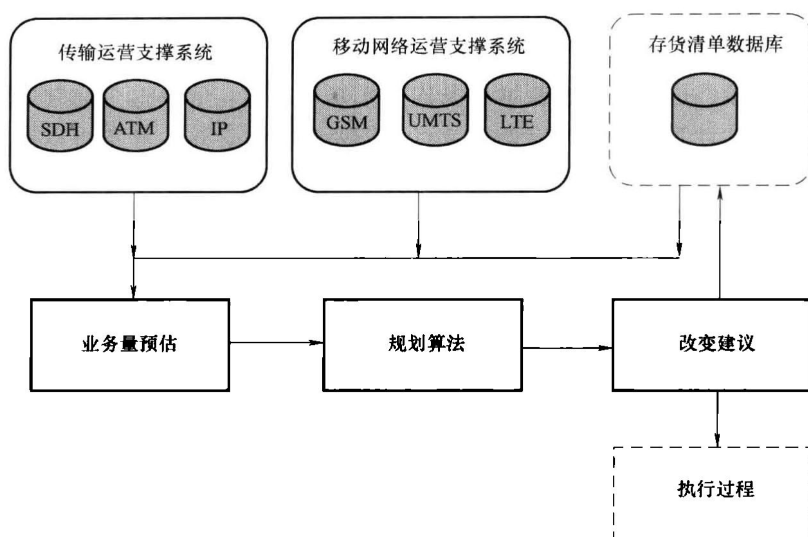


图 4.4　自动传输规划过程

4.7.3　自动传输规划过程

图 4.4 展示了自动传输规划过程。这个过程从 OSS 数据库提取信息，OOS 数据库包括 GSM/UMTS/LTE OSS 系统，传输特定数据库和清单数据库。明显地，保持传输数据库完全与网络中实际设备的数据同步更新是自动传输规划过程取得好结果的基础。

一旦完成数据收集，预告算法估计通信量的增长，从而规划算法能够提出有意义的网络改变策略。就像以前提到的，该算法不仅要提出改变什么，也要指出何时做出改变。

在自动传输规划功能提出需要做出改变以后，这个信息需要提供给负责执行这个过程的实体。在传输规划这个多样化的领域，执行过程会包含不同的方面。例如，要求更新路由表，它可以通过接入指定的路由器来自动执行，不需要人为干预。另一方面，如果方案中需要在两个节点间建立新的物理连接，它意味着一些硬件设备需要订购和安装。在这个场景下，实施过程包括送一个通知给相应的部门，描述需要购买和部署的物件。

与实施过程一起，修改建议也需要在传输数据库中得到反映，所以它完全和实际网络同步。更新数据库可能也是自主过程。

4.7.4　自动传输规划算法

在下面的内容中会描述一些自动传输规划算法。

4.7.4.1 链路监测

4.7.1节中描述的协议用于通过已有网络路由数据包，但是它们不能检测两个节点间缺少连接，也不能提出新增一条连接来修复问题。解决这个问题的方法是用一个图形连通性计算算法。当有两个节点间需要连接时，这个算法可以按如下算法进行：

1）检查两个节点间是否存在路径。

2）如果没有路径存在，找到可以解决这个连接问题的新的可能的连接。

3）基于预定的标准和代价计算函数，从找到的可能连接中选择最好的链路。

链路监测可以用在任何传输层，从物理连接到传输层（PDH、SDH、ATM、IP等）。一旦网络图形结构被定义，不管底层的技术是什么，两个节点间的连接可以被检测。但是，步骤3依赖于一些因素，例如：

1）距离。

2）无线连接的可视通路、有线链路的管道可行性。他们被评估以检测两个节点是否可以直接连接。

3）被占有的现存链路。

4）节点的端口可用性。

一个关于这些因素的例子会在4.7.5节介绍。

总的来说，这个算法可以确保网络的连接性和提出最好的修改方案。就像以前说的，如果以主动的方式工作，基于预估的网络拓扑结构和业务，这个算法会更加有效，因为它可以预先要求所需的额外连接。

4.7.4.2 容量扩充

如先前所述，在4.7.1节中描述的被动型协议的主要好处是它们可以很快对网络中的变化或链路过载做出反应，更新路由表。但是当所有的路由因为很高的通信量增长而堵住时，这些系统不能提供一个解决方案。在这种情况下需要进行容量扩充。

从检测出链路过载到新的硬件添加到网络可能需要几个星期或者几个月的时间。硬件需要走申请购买、完成购买并安装这样的过程。这会影响到网络性能和预算拨款。为了避免这个问题，需要一个算法来估计网络中需要扩充的容量。这个算法主要包括通信量预估和链路占用计算（见图4.5）。

业务预测函数负责估计接下来几个月里提供给网络的业务，主要基于历史网络业务和额外的上层的市场预估。历史业务会依据测量的趋势提供一个初始的业务增长估计。市场预测会调整初始估计和矫正期望的业务增长，以囊括未来网络扩展和市场营销活动带来的影响。

链路占有计算会依据预计的业务估算网络中的链路负荷。这可以辨别出哪些链路会超负荷和它们何时会超负荷，以便工程师能预先估测出额外需要的容量。例

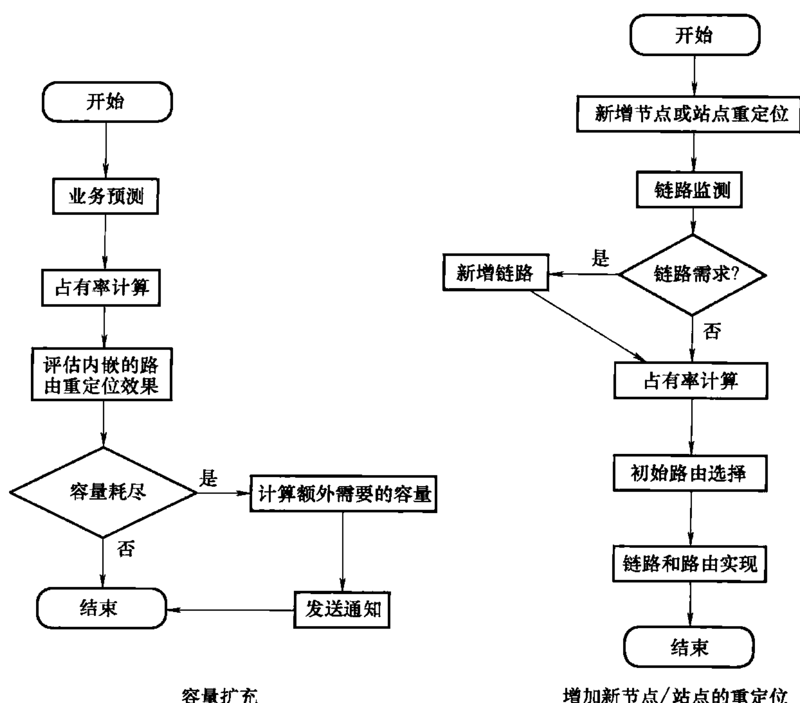


图 4.5　容量扩充和节点重定位算法流程

如，它可能会要求 PDH 连接从 1 条扩展到 2 条 E1 链路。

需要重点指出的是，容量扩充算法也必须考虑用在网络中的自动配置协议，以避免在有些协议可以处理多余的业务的情形下增加容量。例如，当使用 OSPF 或 EIGRP 时，它们会在最初的路由过载时将负载分流到不同的路由。它们可以减少对额外容量的需求，对系统产生积极影响。这个步骤在标有评估内嵌重置路由影响的流程中可以找到。

4.7.4.3　路径保护规划

路径保护规划包括评估某些链路失败带来的影响。通常，这种规划的目的是确保适当的网络可靠性。路径保护规划需要在实际网络失败前进行，一旦这类事件发生，网络能够得到保护。

路径保护分析的核心是上面描述的链路占有计算。链路失效通过虚拟中链路移除来进行仿真。在这种方式下，通过统计过载链路数目来评测它的影响。一旦所有的可能链路失败都被考虑，通过每条链路失效可能性加权，可以获得网络可靠性数据。

4.7.4.4　站点重定位

站点重定位指的是将一个站点从一个网络控制器移到另一个网络控制器（比

如将一个 NodeB 从一个 RNC 移到另一个）。

为了实现这个变化，必须获得通过传输网的路由来实现这个站点到新的 RNC 的连接。这个可以通过图 4.5 所述的算法来实现。

第一步包括使用前面讲过的链路监测算法。通过这个算法，可以评估两个节点的连接性。如果无法在它们之间找到一条路径，新的链路需要被添加到网络中。

第二步描述容量扩充算法。它决定新的逻辑关系是否会造成网络过载，以及是否需要额外的带宽。在这一步中，这个算法也可以计算节点间的路由，从而可以最小化对网络负荷的影响。

最后，实施改变。最后一步可以自动或人工完成，依赖于如前所述的具体场景。

4.7.4.5　添加新节点

添加新节点可以被看成是站点重定位的特殊场景。区别在于在链路检测阶段，总是需要一个新连接：新节点和网络间的第一跳。因此，在这个场景中，链路检测算法的目标不是决定是否需要新的连接，而是在哪添加新连接。

一旦第一跳确定了，接下来这个算法和站点重定位过程相同：利用容量扩充算法来决定新连接所需的额外带宽，同时提出一个初始路由建议。

节点添加算法在图 4.5 中进行了描述。

4.7.5　实际范例

考虑图 4.6 中的网络，它用于阐述添加新节点的过程。首先，做出如下假设：

1）全部节点产生的通信量是 1 个单位（以 Erlang 为例）。

2）全部链路有 3 个单位的容量。

3）一个新节点 N 添加到网络中。

4）连接节点 N 和 A 的代价是 100 个单位，连接节点 N 和 B 的代价是 110 个单位。

5）添加额外容量到链路的代价是 30 个单位。

6）对于现存的节点，假设是最短路径路由。

假设最简单的算法（路径 1）。它会连接到节点 A 因为第一跳的代价是最小的。但是，当完成节点连接后，容量会缺少，需要进行容量扩充。这个代价总和会有 130 个单位。

考虑连接新节点到节点 B，这个选择的第一跳代价会高一些。这里有两个可能的路由（路径 2 和 3）。基于跳数的算法会选择路径 2，但是它与选择路径 1 有相同的问题：它需要一个新的容量扩充，额外增加 30 个单位的代价，总和加起来达到 140 个单位，从而使得这个选择比路径 1 还差。

最后，对于第三个选择（路径 3），第一跳的代价更高，跳数也高于路径 2。

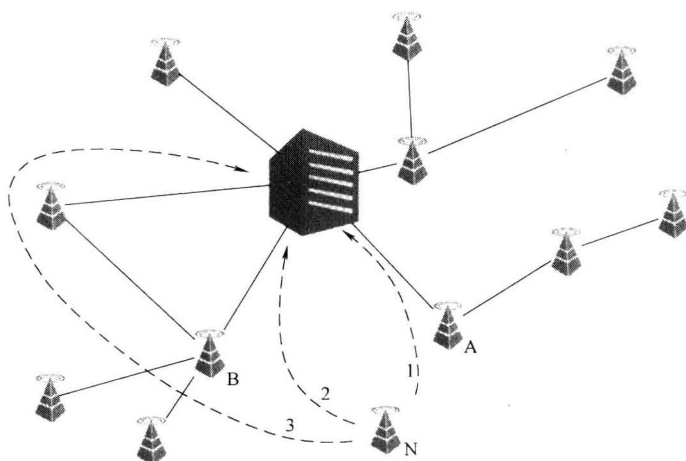


图 4.6 传输规划举例

但是，因为这个路由业务更少，不需要额外的容量。因此，路径 3 的代价总和是最小的。

通过这个例子，我们可以看到一个考虑了所有变量的自动传输规划解决方案是如何积极影响网络总代价的。

4.8 自动选址与射频规划

基站位置的规划和网络基础设施的射频设置是无线运营商需要解决的重要问题。除了基站位置，需要进行规划和优化的特定射频设置还包括基站发射功率和天线参数（如方位角、下倾角和高度）。规划和优化的目标是尽量减少部署的基础设施数量，同时在覆盖、容量和质量方面保持适当的服务水平。实现优化目标可以通过包括手工和自动流程的多种方式，本节侧重于描述自动射频规划的过程。

自动选址和射频规划是自规划功能，代表 SON 网络管理模式的重要组成部分。无线建模和优化要求所固有的复杂性，尤其是码分多址（CDMA）或正交频分复用（OFDM）系统[1]，给最佳站点位置的选择和最优射频配置带来了挑战。一般来说，任何工程系统的自优化[2]（包括无线网络的站点配置）都包括 3 个方面：

1. 配置空间

移动无线网络的每种可能的状态被映射到便于选择的配置空间中的一点，其中

[1] 最佳站点位置选择和射频设置对 GSM 系统也很重要。不过 GSM 可以使用频率规划来抵消因射频设计不当造成的干扰。

[2] 在这种情况下，优化指的是规划或优化过程中所使用的优化技术。

状态是定义为所有需要优化的参数实例的一组参数值。这种映射提供了实现更加复杂算法所需要的抽象水平。

2. 评价引擎

评价引擎用于在给定目标集下评估配置空间中的点。通常由代价函数（也称目标函数）来实现。代价函数把配置空间中每个点映射为一个非负值代价。数值代表了给定点在一定优化准则下的优劣。

3. 优化引擎

寻找最优解时，算法将评估配置空间中的多个点，这些评估在优化算法的指导下系统地进行。在经过检验的算法的基础上提出新的解决方法，构成了优化引擎。

自动选址和射频配置过程的输入包括传播预测、性能目标（及它们之间的优先次序）、空间业务分布、地形数据、集群数据、站点可能位置列表、每项的花费（每站点的CAPEX和OPEX，各特定站点改变每种射频设置所需的工作量等）及一系列限制条件（例如需要包括的站点位置、每个小区允许的参数值、最高的花费预算等）。输入可能包括从当前网络（如果可用）所获取的测量值，将在第5章具体介绍。优化过程的输出是优化的站点位置集和天线参数值，后者给选定的基站集合带来由用户定义的最优性能。

在优化过程中，基站放置在每个候选位置，功率和天线参数的初始值都已假定。每个地理位置点接收的信号值以传播模型、传输功率、天线方向和模式的函数形式算出。优化过程中，随着运动算法探索解空间，信号值是根据存储的路径损耗和需要评估的天线配置重新计算的，整体价值在每个位置点以新信号函数值的形式得到更新。

需要指出的是，大量需要优化的参数（由于巨大的小区数量）和这些参数之间的内部关系使设计过程成为一个复杂的优化问题，属于一类非确定性多项式—时间（NP-hard）问题[19,20]。因此，运动算法的选择至关重要。另外，为了获得好的结果，建立精确描述网络的评价模型至关重要，模型需要考虑优化的技术本身的细节，如GSM、宽带码分多址（WCDMA）、正交频分多址（OFDMA）等。不过，模型还必须相对简单，以减小优化引擎的计算负担，使优化任务在可操作的时间范围内完成。

射频规划过程的不同方面和权衡将在以下内容中讨论：4.8.1节讨论配置空间；4.8.2节讨论评价模型及其输入和一般的代价目标；4.8.3节讨论优化搜索引擎的不同方法；4.8.4节讨论射频规划的技术细节。

4.8.1 解空间

射频规划过程包括从候选站点列表中选出最优子集和配置需要在这些位置安装的基站，从而优化网络性能。解空间的定义是扇区参数的所有可能集合，每个参数

都有可能变成一个相关列表。对每个扇区而言，都有参数表明它是否包含在最终设计中，并有其他小区特定的射频参数，比如功率配置、天线类型、天线方位角、天线高度、机械下倾角和电子下倾角。每个参数类型都构成了空间的一个维度。利用这种抽象的模型，图 4.7 的矩阵给出了一种简单的表示系统状态的方法。

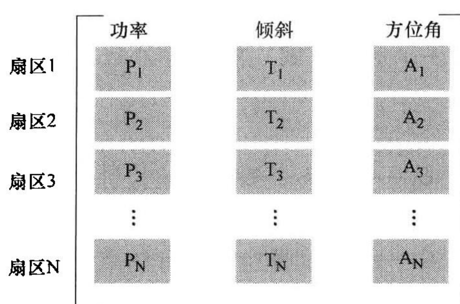


图 4.7　蜂窝系统配置状态的表示格式

如图 4.7 所示，矩阵的行数和系统小区数目相等。每个需要进行优化的参数成为一列。例如，矩阵项（i，j）代表在蜂窝系统第 i 个小区的第 j 个参数值。

理论上，所有以图 4.7 形式表示的矩阵构成了一个解空间，优化算法在这个解空间中寻找最优解，它可以使用户要求的代价函数值最小。实际上，参数可以接受的范围有限，因此搜索的解空间也变小了。此外，还需要考虑其他的限制条件，比如激活某个站点会让其控制的所有小区工作/激活。

4.8.2　射频规划评估模型

解空间中每个新点被优化引擎探测到时都会用到评估函数，因此评估函数的执行应该既精确又迅速。有几种可选的评估方法，包括全面的网络蒙特卡罗（MC）模拟和复杂度变化的网络模型。但是，运行一个全面的 MC 网络仿真所需要的处理能力极大，并且这种方法在寻找解空间的每一步都要进行完整的网络仿真。因此尽管这种方法最精确，在优化有几千个站点的网络时，评估工作量变得极大而难以实现。所以，为了获得可操作的优化次数，通常采用了技术上可行的基于代价函数的网络。

这个模型中，优化过程由优化中评估的一组 KPI 驱动，目的是获得实现所有 KPI 间最佳折中的网络配置。KPI 可以是覆盖、质量、容量以及其他任意组合的变量。每个 KPI 都可以用一个代价因子表征，总的代价可以根据上述因子乘上加权值来计算。代价随着小区和位置点增加，位置点代表了需要规划的地理区域，每个地理位置都关联了信号电平、干扰、业务、提升值和集群值。有几种获得不同精度信号的方法：纯测量法、场强预测法（含或不含校准的传播模型）或权值测量预测法。在后一种方法中，运营商可以选择依靠路测校准的预测，也可以选择不同 OSS 统计值［如信号电平分布、低质量共享业务、软交换（SHO）数据等］缩放的预测。

常用的方法是将代价函数分解成代价位置点代价和代价站点代价。代价地理位

置代价可分为代价位置覆盖代价和代价位置点信号质量代价。给定 N 个测量点（代表一个地理区域）和 M 个小区，射频规划所用的代价函数形式可以写成

$$C_{\mathrm{T}} = \sum_{b=1}^{N} C_b + \sum_{s=1}^{M} C_s \tag{4.1}$$

式中　C_b——第 b 个测量点的代价；

C_s——小区 s 的代价；

C_{T}——在配置空间下评估点的代价总的代价。

这些代价代表了不同 KPI 的满足程度，高响应值的代价会驱使优化器舍弃这一设计。每个代价分量都是独立权衡的，权重值可由用户调整以便让优化向期望的方向进行。主要样本位置点分量可以是（但不局限于）覆盖和质量（干扰），并且对不同技术有不同的表示方法。每个小区总代价的典型值为每个小区下行和上行容量代价分量的加权求和。对不同技术的上述分量更加具体的表达式会在下面的内容中介绍。

4.8.3　射频规划优化引擎

如 4.8.1 节所述，解空间的维度与基站参数相对应，每个参数都有针对特定问题的取值范围。优化引擎负责管理探索解空间进而决定最优参数取值。探索并评价所有可能的解是不现实的。例如，优化 100 个基站，倾斜角有 10 个可能取值，功率有 5 个可能取值和方位角有 4 个可能取值，其搜索空间的大小为 $(10\times5\times4)^{100}=1.27\times10^{230}$。因此，优化引擎的选择至关重要，必须选择有效的方式对参数进行迭代计算，使每个参数收敛到合适值，从而产生解空间里的最优解。射频优化问题使用的典型算法有贪婪搜索优化算法、模拟退火（SA）优化算法[21]、基因优化算法[20,22,23]、禁忌搜索算法[24]等。本节介绍两种算法：贪婪搜索优化算法和模拟退火优化算法。

4.8.3.1　贪婪搜索优化算法

贪婪搜索优化算法通过找到每个阶段的局部最优解期望获得全局最优解[25]。在射频规划中，贪婪搜索优化算法将对所有参数（解空间维度）进行迭代，选择每个优化代价最好的参数值。贪婪搜索的缺点是可能在搜索空间中陷入局部最小的僵局。不过，当网络中耦合小区很少时，这种算法本质上可以产生很好的解。典型情况是网络中没有过覆盖小区或者小区服务区域无过度重叠。

扰动步骤（参数变化）从给定点 S 中可以获得的点的集合通常被称为点 S 的邻区。在优化过程中，局部贪婪算法执行以下简单的循环：

1）从配置空间中选取任一点 S 作为初始解。

2）存在测试 S 的邻区时，执行：

① 令 S' 为 S 的未测试邻区。

② 若 cost（S'）< cost（S），令 $S=S'$。

③ 转至步骤 2）。

3）返回 S 值作为问题的最优解。

4.8.3.2 模拟退火优化算法

模拟退火优化算法是一种通过跳出局部最小值来获得比贪婪搜索优化算法更优解的、通用的全局优化算法。它的名字和原理来自于冶金退火，一种使用加热和受控冷却来减少材料晶体结构性缺陷的方法。热量释放了晶体中的原子，缓慢冷却让它们用更少的能量找到优化的组织形式。在同模拟退火优化算法等价的数学模型中，优化过程的每一步都会用当前解相近的一个新的随机解来试探。如果新解更好，就被选中。否则，它被选中的概率取决于当前解和一个名为温度（T）的参数的相近性，后者在过程中使用递减函数来修正。当 T 为 0 时，解理论上接近解空间中全局最优值。模拟退火优化算法典型应用如下：

1）在配置空间中选取任一点 S，作为初始解。

2）令温度参数的初始值 $T>0$。

3）当未冻结时（即 $T\neq 0$），执行以下步骤：

① 令 Δ 等于一个很大的数。

② 执行下列循环直到 Δ < 预定错误值：

a. 选择 S 的一个任意邻区，记为 S'。

b. 更新 $\Delta=\mathrm{cost}(S')-\mathrm{cost}(S)$。

c. 若 $\Delta\leqslant 0$（向下调整），令 $S=S'$。

d. 若 $\Delta>0$（向上调整），令 $S=S'$，其概率[⊖]等于 $e^{-\Delta/T}$。

③ 降低温度 $T=rT$，$0<r<1$。

4）返回已评估的最优解作为问题的最优解。

4.8.4 射频规划的特定技术

4.8.4.1 GSM 网络的射频规划

在 GSM/时分多址（TDMA）网络中，射频规划通常在频率规划之前进行。其任务是改善射频环境（由覆盖和质量等 KIP 决定），使信道规划更简单。

1. GSM 的输入参数集代价函数组件

对每个单独的输入参数集而言，代价函数的形式为

$$C_b=f(t_b)\left[f_{\mathrm{COV}}(\boldsymbol{P}_b)+f_{\mathrm{INT}}(\boldsymbol{P}_b)\right] \tag{4.2}$$

式中 t_b——输入参数集 b 中的服务业务；

$f(t_b)$——与之对应的度量因子，用来提供代价函数的权重；

⊖ 这可以通过在 0 和 1 间产生一个随机数，并且当随机数的值小于 $e^{-\Delta/T}$ 时，设定 $S=S'$ 实现。

$f_{\mathrm{COV}}(\boldsymbol{P}_b)$——输入参数集内由于覆盖限制的代价；
$f_{\mathrm{INT}}(\boldsymbol{P}_b)$——输入参数集内干扰的代价；
$\boldsymbol{P}_b$——该输入参数集从所有相邻扇区接收到信号的矢量。

2. 欠覆盖的代价

为了建立并维持任何地形的呼叫，下行的信号接收水平需要大于特定阈值。通常假定建筑的密度和它们对信号衰减的影响同特定地形的形态分类紧密相关[26]。由于接收信号水平（RSL）预测值通常在室外算出，接收信号的覆盖阈值也跟地形分布有关，这样便于将室内穿透损耗考虑在内。不同环境类型的 RSL 阈值的典型值见表 4.2。

表 4.2 不同环境下 GSM RSL 的典型阈值

环境	RSL 阈值/dBm	环境	RSL 阈值/dBm
大城市	-66	郊区	-76
城市	-70	乡村	-84

通常，射频规划算法假定最强服务基站的 RSL 值大于给定地形的阈值，对应输入参数集就满足覆盖要求。

3. 干扰代价

理想情况下，蜂窝系统每个小区都只应覆盖它的服务区域。如果实际覆盖区域比设计的小，就会产生覆盖问题。另一方面，如果覆盖区域超过了所需，系统内小区间的干扰就可能出现。为了维持输入参数集内的服务质量，输入参数集内潜在的载干比（C/I）应该足够高，其中 C 代表从观察到的服务小区的接收信号水平，I 代表干扰（从其他小区接收到的信号之和）。通常，几个可以支持呼叫的小区信号会出现在每个输入参数集内。在规划过程中，通常认为主服务小区是 RSL 值最高的小区。其他小区代表干扰，它们降低信号的服务质量。潜在 C/I（与实际 C/I 相对应）并不考虑特定的信道规划，而是假设任何潜在的干扰源都可能是实际干扰。因此提高潜在 C/I 意味着清理总的射频环境，使网络在任何信道规划下都能正常运行。因此，干扰代价部分是用来惩罚干扰的。通常，覆盖和质量之间有一个权衡，射频规划算法的任务就是找到最好地平衡两者的网络配置。

4. GSM 小区代价函数成分

除了覆盖和质量，GSM 小区规划中另外一个重要的因素是容量。每个基站都有一定数量的发射器，能够服务预定的业务（用户数）。网络中站点的规划应当以最少的硬件资源满足两个主要容量目标。第一，网络中的用户不能发生阻塞。第二，基站之间的负载应当尽可能均匀分布，以达到通常称作的负载均衡[26]。每个单独的小区，小区分量的代价函数的格式为

$$C_s = \max\left(\frac{E(s) - E_{\mathrm{MAX}}(s)}{E_{\mathrm{MAX}}(s)}, 0\right) \tag{4.3}$$

式中 C_s——小区成本，用以惩罚小区 s 超过的容量；

$E(s)$——小区 s 提供的业务服务；

$E_{MAX}(s)$——小区 s 的最大业务，最大业务取决于小区 s 所分配到的发射器数量。

4.8.4.2　UMTS 网络的射频规划

在 UMTS 网络中进行有效的射频规划是一项具有挑战性的任务。UMTS 网络规划中的主要困难是 WCDMA 基站间的强耦合，以及容量、覆盖同质量之间的深度耦合。基站设置的调整，如天线参数、信道功率或接纳控制阈值，能够影响网络的所有方面。这种耦合来源于所有基站共享带宽，对于给定的 UE，服务小区外的所有小区都认为是干扰。

模拟这些效应的最精确方式是进行 MC 仿真（Monte Carlo Simulation），考虑网络中业务的容量和分布以及 SHO、功率控制等机制。然而，如 4.8.2 节中所提到的，MC 仿真计算量很大，通常不适于作为像自动射频规划等中的优化搜索引擎评价机制。因此，迫切需要快速的评价模型，同时保证考虑到了 UMTS 的技术方面。例如，简单 C/I 或显性模型对 UMTS 而言是不够充分的，因为使用了导频 Ec/Io 和 Eb/No 等其他质量测量。导频 Ec/Io 表示每片的导频能量（Ec）比接收总宽带上的噪声干扰功率谱密度（Io），Eb/No 表示每比特能量（Eb）和噪声频谱密度（No）之比。

1. UTMS 的输入参数集代价函数成分

每个独立的输入参数集，代价函数的形式为

$$C_b = f(t_b)\left[f_{\mathrm{COV}}(\boldsymbol{P}_b) + f_{\mathrm{Pilot\ INT}}(\boldsymbol{P}_b) + f_{\mathrm{Traffic\ INT}}\boldsymbol{P}_b\right] \tag{4.4}$$

式中　t_b——输入参数集 b 中的服务业务；

$f(t_b)$——附加于对应业务的比例因子；

$f_{\mathrm{COV}}(\boldsymbol{P}_b)$——输入参数集内欠覆盖的代价函数；

$f_{\mathrm{Pilot\ INT}}(\boldsymbol{P}_b)$——输入参数集内导频干扰的代价函数；

$f_{\mathrm{Traffic\ INT}}(\boldsymbol{P}_b)$——输入参数集内业务干扰的代价函数；

$\boldsymbol{P}_b$——代表输入参数集内接收导频功率的信号矢量。

2. 欠覆盖的代价

在任意给定的地理位置建立并保持通话，导频信道的 RSCP 需要大于某阈值，类似于 GSM，不同的地形有不同的阈值，射频规划算法假定如果 RSCP 最强的服务小区大于对应地形的阈值，则输入参数集满足覆盖要求。不同环境下 UMTS RSCP 的典型值见表 4.3。

表 4.3　不同环境下 UMTS RSCP 阈值典型值

环境	RSCP 阈值 /dBm	环境	RSCP 阈值 /dBm
大城市	-80	郊区	-90
城市	-84	乡村	-98

3. 导频干扰的代价

正确译码特定输入参数集的导频信号，服务小区的导频 Ec/Io 应该足够高，其中导频 Ec/Io 是导频质量的指示，也等于导频 RSCP 和接收信号强度指示（RSSI）的比值[26]。通常在每个输入参数集内可以测量几个小区的导频信号，规划过程中，通常认为服务小区的 RSCP 最大。其他小区代表了干扰，除了它们是 SHO 活动集的一部分之外，它们的信号降低了服务质量。因此导频干扰代价成分用来惩罚导频干扰或导频污染。

4. 业务干扰的代价

UMTS 中，代价函数中需要其他部件来考虑业务信道的 Eb/No。该部件称作业务干扰的代价，用来确保呼叫保持足够的质量[26]。

对于 Ec/Io 和 Eb/No 而言，优化过程中 Io 和 No 部分实时更新至关重要。当基站配置更新时，业务从一个小区转移到另一小区，SHO 活动集也可能改变。而且，大多数位置点中的 Io 和 No 发生改变，这需要通过简单的数学模型恰当地捕捉到，射频环境变化时模型容许这些变量对演变进行快速和可接受的估计。

5. UMTS 扇区代价函数成分

UMTS/CDMA 网络射频规划过程中容量比 GSM 网络更重要。基于 CDMA 的网络中，容量指的是下行和上行的容量。每个扇区的代价函数小区分量的格式为

$$C_s = f_{\mathrm{CAP}}^{\mathrm{DL}}(s) + f_{\mathrm{CAP}}^{\mathrm{UL}}(s) \tag{4.5}$$

它代表了下行和上行容量之和。下行容量是针对每个扇区定义的，是基站处功率分布的函数，即

$$f_{\mathrm{CAP}}^{\mathrm{DL}}(s) = \max\left(\frac{P_{\mathrm{T}}(s) - P_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Max}}(s)}{P_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Max}}(s)}, 0\right) \tag{4.6}$$

式中 $P_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Max}}(s)$——小区 s 的最大发射功率；

$P_{\mathrm{T}}(s)$——小区 s 当前传输的总功率。

上行容量是基站处噪声上升的函数。噪声上升定义为总带宽接收功率除以热噪声功率。上行容量定义式为

$$f_{\mathrm{CAP}}^{\mathrm{UL}}(s) = \max\left(\frac{\mathrm{NR}(s) - \mathrm{NR}^{\mathrm{Max}}(s)}{\mathrm{NR}^{\mathrm{Max}}(s)}, 0\right) \tag{4.7}$$

式中 $\mathrm{NR}^{\mathrm{Max}}(s)$——小区 s 最大允许的下行噪声抬升；

$\mathrm{NR}(s)$——该小区上行噪声抬升的估计值。

6. HSPA 建模

HSPA 是扩充并改善 UMTS 网络性能的一组协议。它包含两个部分，即 HSDPA（高速下行分组接入）和 HSUPA（高速上行分组接入）。射频规划模型可以将 HSDPA 包括进来，考虑 HSDPA 物理信道的使用情况，计算输入参数集代价中将影响

导频和业务干扰代价的 Io。此外，可以如下方式在小区下行容量中加入新的扇区容量分量：

$$f_{\mathrm{CAP}}^{\mathrm{DL}}(s)=\max\left(\frac{P_{\mathrm{T}}(s)-P_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Max}}(s)}{P_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Max}}(s)},0\right)+\max\left(\frac{P_{\mathrm{HS\text{-}PDSCH}}(s)-P_{\mathrm{HS\text{-}PDSCH}}^{\mathrm{Max}}(s)}{P_{\mathrm{HS\text{-}PDSCH}}^{\mathrm{Max}}(s)},0\right) \tag{4.8}$$

式中　$P_{\mathrm{T}}^{\mathrm{Max}}(s)$——小区 s 的最大发射功率（不含控制信道和 HSDPA 信道）；

$P_{\mathrm{T}}(s)$——小区 s 当前传输的总非 HSDPA 功率；

$P_{\mathrm{HS\text{-}PDSCH}}^{\mathrm{Max}}(s)$——分配给 HS-PDSCH 的最大功率；

$P_{\mathrm{HS\text{-}PDSCH}}(s)$——该小区的 HS-PDSCH 功率估计值。

4.8.4.3　LTE 网络的射频规划

对于 LTE 射频规划，需要考虑的主要技术特点如下：①下行链路中 OFDMA 的使用；②上行链路中单载波 FDMA（SC-FDMA）的使用；③使用 MIMO 天线机制提高吞吐量；④干扰协调方法的潜在应用；⑤FDD 和 TDD 的支持。

1. LTE 代价功能成分

每个单独的输入参数集，代价的表达式为

$$C_b=f(t_b)\left[f_{\mathrm{COV}}(\boldsymbol{P}_b)+f_{\mathrm{Pilot\ INT}}(\boldsymbol{P}_b)+f_{\mathrm{Traffic\ IINT}}(\boldsymbol{P}_b)\right] \tag{4.9}$$

式中　t_b——输入参数集 b 内服务的业务；

$f(t_b)$——附加于对应业务的比例因子；

$f_{\mathrm{COV}}(\boldsymbol{P}_b)$——输入参数集内欠覆盖的代价函数；

$f_{\mathrm{Pilot\ INT}}(\boldsymbol{P}_b)$——输入参数集内惩罚由 RSRQ 代表的导频质量不足的函数；

$f_{\mathrm{Traffic\ IINT}}(\boldsymbol{P}_b)$——输入参数集内吞吐量不足或传输数据的 SNR 不足而设计的业务干扰代价函数；

$\boldsymbol{P}_b$——代表输入参数集内接收功率导频的信号矢量。

2. 欠覆盖的代价

在 LTE 中，RSRP 是捕捉下行链路导频信号强度的度量标准（概念上等价于 UMTS 中的 RSCP）。它的定义是每个位置点中，在考虑范围的带宽内，从服务小区携带特定参考信号（RS）的资源粒子上的平均下行链路接收功率[27]。为了建立并保持任何给定地理位置上的呼叫，RSRP 需要大于某个与地形相关的预定义的阈值，假定 RSRP 最强的服务小区大于针对输入参数集地形给定的阈值，则输入参数集满足覆盖要求。不同环境下 LTE RSRP 的典型阈值见表 4.4。

表 4.4　不同环境下 LTE RSRP 的典型阈值

环境	RSRP 阈值/dBm	环境	RSRP 阈值/dBm
大城市	-84	郊区	-94
城市	-89	乡村	-108

3. RSRQ干扰的代价

在LTE中，RSRQ是捕捉下行链路导频信号接收质量的度量标准（概念上等价于UMTS中的Ec/Io)。它的定义是每个位置点中，RSRP和载频带宽所有基站宽带接收信号加热噪声的比值[27]。

为了保证输入参数集内的质量目标，服务小区的导频RSRQ应当足够高。规划过程中，假定每个输入参数集的服务小区是RSRP值最大的小区。

4. 业务干扰的代价

除了以上决定移动台是否能接入LTE网络的KPI外，还有一个额外的KPI需要优化。它决定了连接质量和移动终端可能达到的吞吐量。编码类型和速率应当予以计算或标识为SNR的一个函数。改善和优化SNR至关重要，它也应成为规划过程的目标之一。与RSRQ不同，由于SNR考虑OFDM小区资源分配，受小区间实际干扰的影响，而RSRQ受整个使用信道的干扰。为了保证整个网络要求的吞吐量，需要足够高的SNR。

而且，优化需要考虑ICIC（如果使用ICIC)。由于OFDM小区资源的正交性，至少在理想情况下，同一小区内不会有传输干扰，只能有不同小区间的干扰，特别是用户在小区边缘时。因此，为了减小或控制小区间干扰，提高LTE系统性能特别是小区边缘用户的性能，可以使用ICIC机制，它能智能地分配更少（并且选择）资源（带宽）给小区边缘的用户，这些用户占了网络中最大的干扰。如果网络中该功能为激活状态，自规划功能需要考虑ICIC，即计算下行链路和上行链路的SNR时需要对它的影响进行建模，进而映射到双向的潜在可获得的吞吐量中。

除了ICIC，还有其他因素影响从SNR到吞吐量的映射（对于给定数目的资源块)。其中值得关注的是引入MIMO机制的性能，它转化为对SNR的修改。需要注意的是在MIMO中，由于MIMO显著不同的影响，系统的特殊性要求区分从/到服务天线视距（LOS）的位置点和非视距位置点（NLOS)。

5. LTE小区成本功能部件

与GSM和UMTS系统相似，容量是LTE优化的关键部分。网络运行时，基站处OFDM的时频资源必须使用调度器分配给服务的移动台，通常使用Round-Robin或比例公平算法[27]。当系统阻塞时，一些用户的吞吐量比要求的低，寻找最优的系统配置时需要考虑这些现象。类似UMTS，LTE容量包括下行链路分量和上行链路分量：

$$C_s = f_{\mathrm{CAP}}^{\mathrm{DL}}(s) + f_{\mathrm{CAP}}^{\mathrm{UL}}(s) \tag{4.10}$$

它们定义为对应小区的下行链路和上行链路使用情况的函数。使用情况的定义是RB使用的平均数和可用总数的比值。

$$f_{\mathrm{CAP}}^{\mathrm{DL}}(s) = \max\left(\frac{U_{\mathrm{DL}}(s) - U_{\mathrm{DL}}^{\mathrm{Max}}(s)}{U_{\mathrm{DL}}^{\mathrm{Max}}(s)}, 0\right) \tag{4.11}$$

$$f_{\mathrm{CAP}}^{\mathrm{UL}}(s)=\max\left(\frac{U_{\mathrm{UL}}(s)-U_{\mathrm{UL}}^{\mathrm{Max}}(s)}{U_{\mathrm{UL}}^{\mathrm{Max}}(s)},0\right) \tag{4.12}$$

式中　$U_{\mathrm{DL}}^{\mathrm{Max}}(s)$和 $U_{\mathrm{UL}}^{\mathrm{Max}}(s)$——小区 s 下行链路和上行链路的总的最大使用情况；

$U_{\mathrm{DL}}(s)$和 $U_{\mathrm{UL}}(s)$——扇区 s 下行链路和上行链路的使用情况。

4.9　自动邻区规划

终端从一个小区移动到另一个小区时，保持语音通话或包传输是移动通信网络的最根本特征之一。通常这种称为切换（HO）或移交的特征对用户而言是透明的，用户在通话过程中不会意识到服务小区的改变。不论哪种技术，切换过程都是由移动站测量的服务小区和候选小区接收信号强度驱动或者由基站端的小区业务量驱动的。例如，在 GSM 的 BSC 中和 UMTS 的 RNC 中处理这些测量值，确保移动终端总是由最好质量的小区服务，同时保证整个网络的效率。对每个无线小区，需要测量的候选切换小区列表被称为邻区（或邻接）列表。因为 GSM 和 UMTS 的切换仅限于相邻小区，该列表应该足够大，又由于掉话经常由邻区漏配导致，列表应包含所有潜在的重叠服务小区。同时，邻区列表不应太长，避免传输切换相关测量中不必要的信令开销。这意味着重叠概率低的小区不应成为邻区列表的一部分，但也不能忽视可靠的候选小区，避免找不到切换路径而产生掉话。

处理小区测量和做出切换决策的算法是设备制造商的专利，它们基于信号强度阈值和不同的滞后值与定时值[28,29]。在 GSM 和 UMTS 中，邻区列表通常不超过 32 个邻区，不同设备制造商之间有细微差别（例如，近期相同技术扩展到了 64 个邻区）。通常，如果没有定义 iRAT 邻区，大部分制造商都会支持 64 协同系统的邻区扩展。如果至少定义了一个不同无线制式的邻区，就可以使用 32 协同系统的邻区。换言之，如果 GSM 小区有一个或多个 UMTS 邻区，则它不能定义多于 32 个 GSM 的邻区。

将邻区列表扩展至最大值 32（或 64）可能是一种健壮而安全的最小化丢失邻区危险的方法，但这种方法会影响切换的准确性，因为分配给测量和确认每个小区的时间变短了。为了在获取完整的同时避免过长的邻区列表，必须仔细地为每个小区配置邻区列表。以前，在初始化小区或集群启动之前，邻区列表就已经基于相似度准则或众所周知的不准确传播损耗预测模型建立了。启动之后，邻区列表大多数基于路测进行繁冗的手工调试。这个过程既耗时又很大程度上依赖于工程师的经验与能力。

最近，人们规定了自动邻区列表生成与优化的方法[30,31]。这些方法依靠测量来检测不必要的和漏配的邻区。基于合适定义标准和阈值的方法减少了不同工程师的经验的影响，并能完美地同 SON 范例相适应[1]。以下内容将讨论自动邻区列表

生成的多个方面，自动生成邻区列表正成为自动小区规划和优化的重要部分，其总体目标是尽可能地拥有完整的，同时最短的邻区列表。

4.9.1 邻区列表的技术细节

4.9.1.1 GSM 中的邻区列表

GSM 的邻区列表可以包括 3 个方面：

1）频带内：来自相同频带的邻区，例如 900MHz/900MHz 或 1800MHz/1800MHz。

2）频带外：来自不同频带的邻区，例如 900MHz/1800MHz 或 1800MHz/900MHz。

3）iRAT：从 GSM 系统到 UMTS 系统的切换。

非 iRAT 的 GSM 邻区列表包含 BCCH 频率，这些频率由移动终端在空闲时隙扫描，并报告回给 BSC，以便做出切换判决。移动终端的报告功能常和移动台协助切换（MAHO）相关。如上面提到的，GSM 邻区列表应该足够完整，避免丢掉重要的邻区而掉话。同时，它们应只含必要的 BCCH，避免 BSCI 解码的困难和缓慢的切换执行。GSM 邻区 BCCH 频率的数目通常限制为 32（若没有 UMTS 小区作为 iRAT 邻区则限制为 64）。如果小区不要求所有的 32 个 BCCH 时隙，可以把空闲的时隙暂时分配给所谓的虚拟（非 HO）邻区。增加虚拟邻区创建了扩展邻区列表，通过设置过高阈值使终端无法向虚拟邻区切换，而这些 BCCH 频率上的有用的移动测量仍然上报给 BSC。这个邻区列表扩展暂时会增加信令，可能影响切换执行，但实际中发现这些影响很小，可以通过自动网络规划和审核的可靠数据来调整。除了网络审核和邻区规划，这些扩展的邻区测量可用于干扰矩阵（Interference Matrix，IM）的生成，为精确的自动频率规划提供有用的输入，同时也可用于校正覆盖预测和自动天线优化的算法。

如果网络包含小于 32 个 BCCH 频率，每个小区可以在其扩展邻区列表中包含所有 BCCH 频率，这使得网络中干扰的估计准确而完整。不可避免的一个限制是 GSM 系统标准中规定，大约每 0.48s 只上报最强的 6 个 BCCH 频率[32]，因而潜在的缺失干扰仍然存在，尤其是在超过 6 个强信号重叠小区的密集站点集群中。如果网络部署了超过 32 个 BCCH 频率，虚拟邻区的频率可以在可用的时隙间轮换，或者可以产生智能扫描列表。智能扫描列表包含最可能干扰的频率，是自优化算法的重要部分，因为它保证了干扰测量集中于最可能的源小区。这些扩展的 GSM 邻区列表测量值用于自优化，优化范围从频率和邻区规划与优化到精细的基于 OSS 的自动小区规划。但是，扩展邻区列表测量值的采集应当限制在恰好可以采集足够有效数据的时隙，防止扩展邻区列表对切换性能产生负面影响。不同 GSM 设备生产商的扩展邻区列表设置的细节和复杂情况变化很大。

除了 32 个 GSM 邻区（可以包含多个频带，如 900MHz 和 1800MHz），GSM 小区也可以为切换配置至多 32 个 UMTS 小区。GSM 小区的 UMTS 邻区通过载波中心

频率和PSC进行配置。为了监控这些小区，双模手机终端必须改变其调制器，并且扫描不同的频带。这通过返回最适合的UMTS载波中心频率并且在空闲时隙中接收机的通带从200kHz增加到5MHz来实现。

尽管次优化GSM邻区列表对网络性能的影响可能会被较好的小区和频率规划所掩盖，还是建议选择合适的邻区列表。无线和频率规划不能克服所有的邻区问题（例如，邻区漏配），合适的邻区列表可以在问题产生地解决问题，而不是在其他地方。

4.9.1.2　UMTS中的邻区列表

UMTS的邻区列表最多可以有96个邻区，包括以下3种不同的方面：

1）频率内（最多32个相同UMTS载波的邻区）；

2）频率间（最多32个不同UMTS载波的邻区）；

3）iRAT（最多32个GSM邻区）。

大多数邻区通常都不是在不同的载频上，而是同频邻小区，这些小区通过使用PCCPCH发送给UE的PSC来确定。作为UMTS中固定功率的编码信道，CPICH的作用是为切换测量和诸多自动小区规划与优化任务提供参考。512个可用PSC的分配将在4.11节讨论。

与GSM类似，所有的UMTS切换都是MAHO，移动终端报告接收CPICH水平。不过，报告不像GSM中默认是连续的，而是当特定指示超过了配置的阈值时才触发[33]，除非周期报告被激活。而且和GSM不同，UTMS系统建立基础的WCDMA空中接口允许UE同时接入多个使用相同频率的小区。这常称为频率内切换或软/更软切换。软切换是指来自多个NodeB的小区间的切换，更软切换是指来自同一个NodeB的小区间的切换。SHO的主要优势是切换的无缝（断线前执行）特性，首先建立到新小区的连接，再经过在多个小区的短暂驻留，与原来的小区断开。另一个优势是小区边缘SIR增强了，多个小区提供服务，因此可以防止掉话或服务质量过差。与软切换和更软切换相关的小区集合称为活动集。每次UE更新其活动集时，它会收到一个新的由集合中每个小区的邻区列表合并的邻区列表。UMTS中的邻区列表称为观测集，其余由UE检测到的PSC小区构成的集合称为检测集，可以被用来自动调整邻区列表，防止强导频进入该集合。

为了成为候选的激活集，小区的PSC必须是监控集的一部分。UE从监控集中频繁地扫描CPICH并当满足触发条件时（或周期报告被激活）向UTRAN报告它们的质量。基于移动设备的测量，UTRAN决定切换的组合。但是和GSM中测量持续周期为0.48s相反，UMTS中邻区测量结果的上报是事件触发的，并且当邻区的接收导频强度或质量降至某阈值[34]时触发。前面已经提到，UMTS也支持周期测量，为了实现这一功能，UE必须被明确指示提供这些报告。报告细节和周期测量的激活取决于设备制造商。例如，一些UMTS制造商只允许通过追踪指定的目标

UE 来收集周期的邻区报告。

当邻区列表不完整时会出现问题，一些信号最强的服务小区不在列表中。由于 UE 只频繁扫描来自邻区列表中的导频，列表外的导频不会被扫描，只有部分的必要 MAHO 测量会被传回 UTRAN。但是，这些信号仍然存在，由于它们不在激活集中，它们会成为干扰。如果邻区列表外的导频成为最强的信号，情况会变得更糟糕，产生的干扰会导致 UE 掉话。掉话后，UE 随后重新请求连接，此时它由之前的干扰小区提供服务。掉话前服务于 UE 的导频现在变成了干扰，这样会使问题时间延长。因此，错误的邻区列表是 UMTS 的薄弱之处。

基于以上场景，为了将一个区域所有可能的 PSC 都包括进来，建立大的邻区列表是一种吸引人的方法。由于 UE 按次序扫描所有检测集中的邻区，这种方法有负面影响，如果列表很长，每个 CPICH 的测量会不很频繁，使得切换过程变慢。在信道迅速改变的城市和人口密集的城市环境中，这可能导致严重的性能问题。

另一个需要考虑的重要问题是将 GSM 的 BCCH 信道包含进 UMTS 小区的 iRAT 邻区列表中。一旦接收到 RNC 的指令，UMTS 的 UE 进入所谓的抑制模式，暂时停止了 WCDMA 接收，以便扫描 iRAT 邻区列表中包含的 BCCH 频率[26]。必须很仔细地添加这些频率（信道），因为进入抑制模式来测量 GSM 的 BCCH 给 UMTS 网络引入了额外的干扰，如果干扰过大，可能带来吞吐量的减小。

4.9.1.3　LTE 中的邻区列表

LTE 不仅给现有技术带来显著的增强，它也通过完全标准化同 GSM、UMTS 以及 CDMA2000 系统间的切换来保证同现有网络的共存。对与遗留系统间切换的标准化工作大大减少了运营商投入，允许其从早期的无线通信系统平滑过渡。除了在早期系统 2G、3G 技术基础上彻底标准化 iRAT 切换，LTE 为 LTE 内和 LTE 与 2G/3G 之间邻区列表的维护和监控带来了显著增强。这些变化是为了避免维护 GSM 和 UMTS 网络中邻区列表的复杂性和难度。为了克服这些困难，LTE 甚至可以在没有预先定义的邻区列表情况下运行。这种先进模式是通过自动邻区关系（ANR）功能实现的，邻区列表通过 UE 的测量报告结果动态建立。LTE 候选邻区在 UE 端基于 RSRP 和 RSRQ 测量以 200ms 周期被评估。测量包括服务小区强度和质量，也包括所有检测到的 PCI 及相应信号强度。因此，没有预先定义的邻区列表，当 UE 检测合适候选邻区的 PCI 作为 ANR 的一部分后，候选小区的小区全球标识（CGI）必须被解码。一旦 CGI 被解码并被知晓后，传输网络层（TNL）就建立了，X2 接口也建立了，以便切换到新检测到的邻区。ANR 同 LTE 系统 SON 另一个方面紧密相关：PCI 的自优化。PCI 可以在自动邻区更新后再更新，这样 PCI 可以和检测到的邻区相适应，避免冲突。ANR 是 LTE（事实上是目前整个手机行业）标准化的 SON 中最有前景的用例，在第 5 章中会有更多讨论。

对于仍然支持预先定义邻区列表的 LTE 系统，ANR 功能是可选项。除了这些典型（静态）邻区列表，LTE 维持着两种可选小区列表[35]：

1）白名单：包含考虑重选/切换的小区。

2）黑名单：包含不考虑重选/切换的小区。

有关 LTE 邻区的信息以系统信息块（SIB）的一部分的形式由 LTE 中的 BCCH 传输。包含邻区列表信息的有关信息块是 SIB4-8：

1）SIB 4：频内 LTE 邻区的信息。

2）SIB 5：频间 LTE 邻区的信息。

3）SIB 6：iRAT UMTS 邻区的信息。

4）SIB 7：iRAT GSM 邻区的信息。

5）SIB 8：iRAT 3GPP2（CDMA2000）邻区的信息。

该列表阐明了 LTE 对所有传统技术切换的普遍支持。无论邻区是哪种接入技术、在哪个频率，邻区测量都是基于相同准则。由于 LTE 上行链路传输是不连续的，压缩模式不是必须的，其他频率和无线技术可以在空闲时隙中测量。这些邻区测量不是周期的，但是由定义的以下 7 种触发事件之一触发，即 5 个 LTE 系统内的监视触发（事件 A1-A5）和两个 iRAT 监视触发（事件 B1-B2）：

1）A1：服务小区大于绝对阈值。

2）A2：服务小区小于绝对阈值。

3）A3：邻区比服务小区大于一个偏置值。

4）A4：邻区大于绝对阈值。

5）A5：服务小区小于绝对阈值 1，邻区大于绝对阈值 2。

6）B1：iRAT 邻区大于绝对阈值。

7）B2：服务小区小于绝对阈值 1，iRAT 邻区大于绝对阈值 2。

所有事件的阈值与对应的计时器都是切换算法的输入。如果任何一个事件的触发条件满足并超过一定的时间（超过计时器），周期性的邻区报告就被激活。邻区被周期地检测，直到服务小区质量提高到超过触发阈值或切换被执行。如果服务小区质量改善，周期性的小区监测就被终止。

4.9.2　自动邻区列表规划的原理

在自动邻区规划和优化的其他各方面中，基于测量的邻区列表调整是最有效的。但是，在未开发区域或者现有网络中添加基站时，测量结果是不可获得的。排除细微的近似标准后，传播预测仍然是惟一可用的输入，以确定适合加入邻区列表但还未激活的小区。通常用预测的重叠覆盖来生成邻区列表并提供潜在邻区的排名和权值。以下算法阐述了使用预测重叠覆盖为给定的小区 s 生成邻区列表：

1）对服务小区 s 有关的所有潜在干扰小区执行以下步骤：对干扰小区 v，令 counter $C(v)=0$。

2）对服务小区 s 覆盖内的所有输入参数集（位置点）执行以下步骤：对输入参数集 k，如果输入参数集 k 处的 $(C/I)<\mathrm{Th}_{\mathrm{dB}}$，$C(v)=C(v)+1$。

其中 C 表示从小区 s 接收信号强度，I 表示从小区 v 接收信号强度。$\mathrm{Th}_{\mathrm{dB}}$ 是用来决定强候选邻区的 C/I 阈值。基于外场测试经验，合理的 $\mathrm{Th}_{\mathrm{dB}}$ 选择值是 6dB。

上述算法的输出是一个计数器的集合 $\{C(v),\ v=1,\ 2,\ \cdots,\ N\}$，其中 N 是干扰小区的数量，每个代表从相应干扰基站（候选邻区）接收信号的计数器在服务信号预先定义的阈值内观察。这些计数器和服务小区 s 覆盖范围内所有输入参数集的数量都可以用于计算所有候选邻区的重叠面积的百分数，并相应地对它们排序。另一种方法计算输入参数集的业务量，相应候选邻区的接收信号在 $\mathrm{Th}_{\mathrm{dB}}$ 范围内被观测到。这种情况下，可以计算业务量重叠的百分数。

使用传播预测的主要缺点是可计算模型的准确度低，尤其是在密集城市环境中，它会损害基于预测的邻区列表生成的质量。可以通过基于路测或新站点附近移动台测量自动调整传播模型来增强它。使用这些近似方法，可以从路测中获得传播模型，并用于推断特定地形或区域类型等待激活的新小区。

除了预测重叠覆盖，通常生成邻区列表时还应考虑以下限制：

1）计算区域需要考虑的最小预测服务信号强度：评估重叠百分数时只考虑服务小区和潜在邻区信号超过预先定义阈值的地理区域[⊖]。

2）成为邻区要求的最小重叠服务区域/业务的百分比：使用前面叙述的算法将每个服务小区的覆盖足迹同所有潜在邻区相比，如果区域或业务重叠的百分比超过预定阈值，初步选定潜在邻区。

3）每个小区的邻区最大数量：任何可以成为邻区的小区数目取决于站点密度和所选的重叠准则。比如，在站点密布的场景，根据重叠准则，可能会有超过 32 个邻区被选择。因此，有必要将所有符合的候选邻区排序。只有大于 M 的候选者才会最终成为邻区，其中 M 是邻区列表的期望最大值。

4）其他限制，如小区和邻区间的最大距离、共存站点小区间邻区关系的增强策略、邻区互易性的增强策略等。

图 4.8 显示了一个基于重叠预测的服务区域的邻区列表规划的例子。参考服务小区已经圈出，它的推荐邻区用灰色突出显示。这种特殊结果是通过将最低重叠区域程度设为 10% 得到的，截图是通过商业射频规划软件获得的。

启用新站点后，可以使用移动台测量和可用的 OSS 性能管理（PM）和配置管

⊖ 如果使用数字地图，就会用像素组或二进制文件表示地理区域。

理（CM）数据来优化和调整邻区列表，而不需要传播预测。请参考 5.7.2 节以获得更多细节。

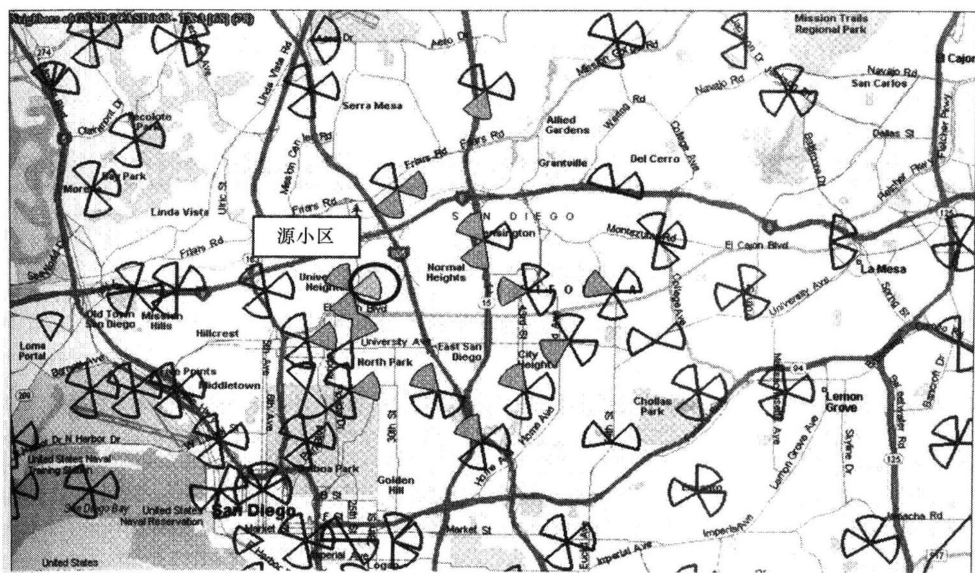


图 4.8　使用商业射频规划工具获取的邻区列表的例子

4.10　GSM/GPRS/EDGE 自动频谱规划

无线移动通信系统频谱规划的作用是为了将所有可用频段分为子频段以分配给无线小区[36]。因为需要将有限而宝贵的频谱资源分配给运营商来构建他们的无线网络，小区间必将存在信道复用。信道复用在相同的区域中引入了同道干扰和邻道干扰。由于现代蜂窝网络密度和业务量需求的增加，小区间覆盖范围的重叠也随之增加，这使频率规划更具挑战性。虽然动态的频率分配提供了更强的灵活性，但是当前的 GSM/GPRS/EDGE 系统支持固定的频率分配。因此，为每一个 GSM 小区固定设置了预先分配并且无重叠的 200kHz 频带。在 GSM 小区的频率分配中，频率规划的过程应确保一定的有效性和 QoS。这意味着为到来的呼叫请求找到一条闲置信道的可能性要足够大（即为小区分配足够的信道）。同时，使用相同或相邻频率的小区间干扰必须足够小（即频率分配必须透明）。实际上，兼容性约束决定了两个无线小区能否配置相同或相邻信道，它具体是指特定环境的 RF 传播特性、两发射机空间间隔距离、天线方位（偏振角）和系统硬件性能。另一方面，业务需求决定了需要给特定无线小区分配的信道数。本书这一部分不讨论频率规划的容量问

题，而是着眼于定义如何为每个小区分配确定信道数的原则。

频率复用是蜂窝通信的基本原则。为达到较高的系统容量，频率必须尽可能紧密地复用。另一方面，在非常靠近的小区中应用相同的频率导致了干扰，这往往会降低通信质量。由频率复用导致的干扰称为同道干扰，与信道间隔相关的干扰称为邻道干扰。系统内干扰（同信道和邻信道的）是 GSM 移动通信系统中最主要的限制容量的因素。

同道干扰（dBm）定义为由相同频率的复用导致的不需要的信号能量，它可以通过已知的信号电平计算：

$$I_{\text{co-channel}} = 10\log\left(\sum_{i=1}^{N} P_i\right) \tag{4.13}$$

式中　P_i——第 i 个同信道小区的平均接收功率（mW）；

N——同道小区的个数。

类似同道干扰，邻道干扰表示另一种形式的不需要的信号能量，它是由关注的频段周围频率成分的溢出导致的。具有可调滤波器的无线接收机能够消除一部分邻道干扰，但不能完全消除。接收机滤波器能够隔离中心频率和相邻频率的程度被称为邻道抑制（ACR），如图 4.9 所示。在分配给其他运营商或技术的频谱附近也会出现邻道干扰。

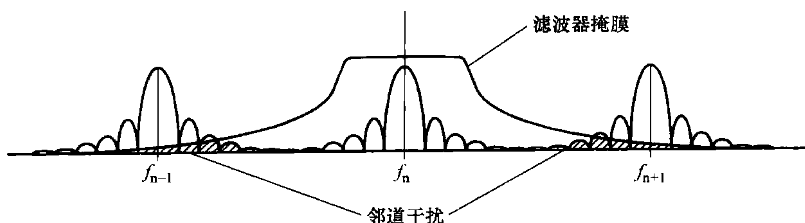


图 4.9　邻道干扰

频率规划的任务是应用数学原理将信道分类作为组合最优化问题，信道的分配必须不违背约束条件，这使频率规划问题与经典的图着色的非完全多项式问题密切相关。实质上，非完全多项式意味着问题的复杂度随着维度以指数方式增长，而没有闭式方法得到最优解。在这种情况下，即使对于中等规模的问题，找到准确的最优解也几乎不可能。在现有文献中，提出了几种可行的频率规划问题的解决办法。被开发的思想包含了经典的图着色方法[37,38]、线性规划[39]、神经网络[40,41,42]、SA[43,44]、遗传算法[45,46]以及各种试探法[47,48]。在已发表的文献中，SA 是最被广泛接受的。

从 20 世纪 90 年代中期开始，这些方法就被以各种形式应用到商业软件解决办法中，从提供自动频率规划（AFP）模块的供应商到提供服务的运营商。AFP 是

GSM/GPRS/EDGE 自规划的重要组成部分。

4.10.1　频谱规划的目标

可以将频率规划定义成为某个网络中的无线发射机有效地分配可用信道所执行的一系列操作和程序。基本说来，GSM/GPRS/EDGE 频率规划的直接目标如下：

1）确定频率规划策略（例如混合或分离的 BCCH 和 TCH 频谱块）、业务分配优先级、移动分配列表（MAL）大小等。

2）设定 BCCH 和 TCH 频率以分别控制和交换 TRX。

3）设定所有小区中的 BSIC 值。

4）设定跳频小区（基带及合成的跳频小区）的 HSN。

5）设定合成的跳频小区的 MAIO。

频谱规划产物的总体目标是确保符合要求的 KPI 值。这些 KPI 值与 CM 数据一起，可以作为自动频谱规划算法（即自规划或自优化算法）的输入。GSM 中受频谱规划影响的 KPI 主要如下：

1）DL 和 UL 接收信号质量（RxQual）：RxQual 是信道误比特率（BER）的量化映射，其范围是 0（质量最好，低 BER）~7（质量最差，高 BER）[32]。当监控性能时，需特别关注 RxQual5 ~7。如果 RxQual5 ~7 所占百分比低则说明频率规划较好。

2）HO 质量百分比：当信号电平很强（高 RxLev）而 RxQual 却很差时就出现了 HO 质量。这是最好的干扰指标之一。HO 质量百分比的减小是成功频谱规划的主要指标。HO 质量百分比定义为下行可靠 HO 的数目和 HO 尝试总数的比例。

3）掉话率：相对于成功建立呼叫的掉话百分比。掉话率受到干扰或其他问题影响，是用户满意度最主要的指标之一。合理的频谱规划能减少由干扰引起的掉话次数。

4）除帧率（FER）：消除基于循环冗余校验（CRC）输出的 20ms 语音帧的百分比[32]。这个 KPI 较 RxQual 而言更准确地指示了用户质量，但因为报告已被证实会影响呼叫的性能，所以下行通常无此 KPI。上行中进行采集对性能并无负面影响，因此上行有此 KPI。

5）独立专属控制信道（SDCCH）掉话率：GSM 中用以描述系统可接入性的重要 KPI。任何携带 SDCCH 的信道间干扰都会导致较高的 SDCCH 掉话率。

6）无线链路控制（RLC）层吞吐量：GPRS/EDGE 在传输活跃期（不包含排队）每时隙平均吞吐量。这个 KPI 表示基于所选编码策略的平均 RLC 吞吐量，反映了承载业务信道上的干扰。应注意 RLC 吞吐量和链路控制层（LLC）

吞吐量的区别。LLC 也包括由资源缺乏引起的、包含 RF 质量的影响和排队在内的延时。

7）编码策略分布：GPRS 应用编码策略 CS1～CS4，EGPRS 的调制编码策略是 MCS1～MCS9[32]。较高的编码策略会使 RLC 每时隙的吞吐量较高。因此，如果只有小比率的采样点使用较高的编码策略，说明（E）GPRS 信道上有干扰以及频率规划不合适。

频谱规划通常由以下情况之一触发：

1）为减小干扰提高性能进行的网络周期性优化。

2）由观察到的上述 KPI 中至少一个的退化触发的 Ad-hoc 优化。

3）业务增长规划（解决收发信机的增加和新站点的集成）的定期维护。

4）频谱增加，例如获得和激活新信道。

5）频谱分割/减少，例如从 GSM 到 UMTS 的迁移。

如上所述，当引入典型的频谱规划触发条件时，频率规划是动态的。它们的变化来满足业务繁忙区域新基站对额外频谱的需求，消除由不可接受的干扰电平引发的问题，或者甚至是适应传播环境中的季节性变化。一个好的频率规划可以增加容量提高 QoS。考虑到根据扇区所处生命周期的不同阶段，使用不同的方法来确定最优频谱规划才是适当和可行的。在一个扇区投入商用之前，除非网络已经部分投入给友好客户使用，否则 OSS 统计通常难以获得。因此，这种情况属于自规划范畴，并且优化机器自然具备一个基于传播预测的干扰矩阵（IM）作为输入参数。然而，当扇区全面运转时，OSS 统计就能建立一个更加准确的 IM，从而进入自优化领域。尽管在本书中自规划纳入第 4 章而自优化在第 5 章阐述，为使条理清晰，所有之前提到的频率规划和优化的部分都会在第 4 章中综合讨论。

4.10.2　频谱规划的输入

不考虑频率规划的方法，IM 是最关键的输入。IM 的作用是估计一个系统中要使用相同信道的每对扇区的 C/I 关系。任意两蜂窝的 C/I 很大程度上随着观察点的位置而变化，离服务器越近则数值越高，离服务器越远离干扰越近则越低。因此 IM 的计算中可能是均值、中值或所有 C/I 观察值的其他相关百分位（5%、10% 等）。对源发射机是最好的服务基站的每个位置，会记录源发射机和接收干扰信号电平的比。这就在源发射机服务区的输入参数集中产生了一套 C/I 取值。如图 4.10 所示，这个直方图是从个别接收器的数值计算而得的，IM 的所有取值会在有请求时报告（第五或其他百分比）。

在 N 个小区的网络中，IM 是 $N\times N$ 的矩阵，它包含了每个活跃扇区到其他每个扇区的干扰关系值（见表 4.5）。服务小区排成矩阵的行，列则表示干扰。

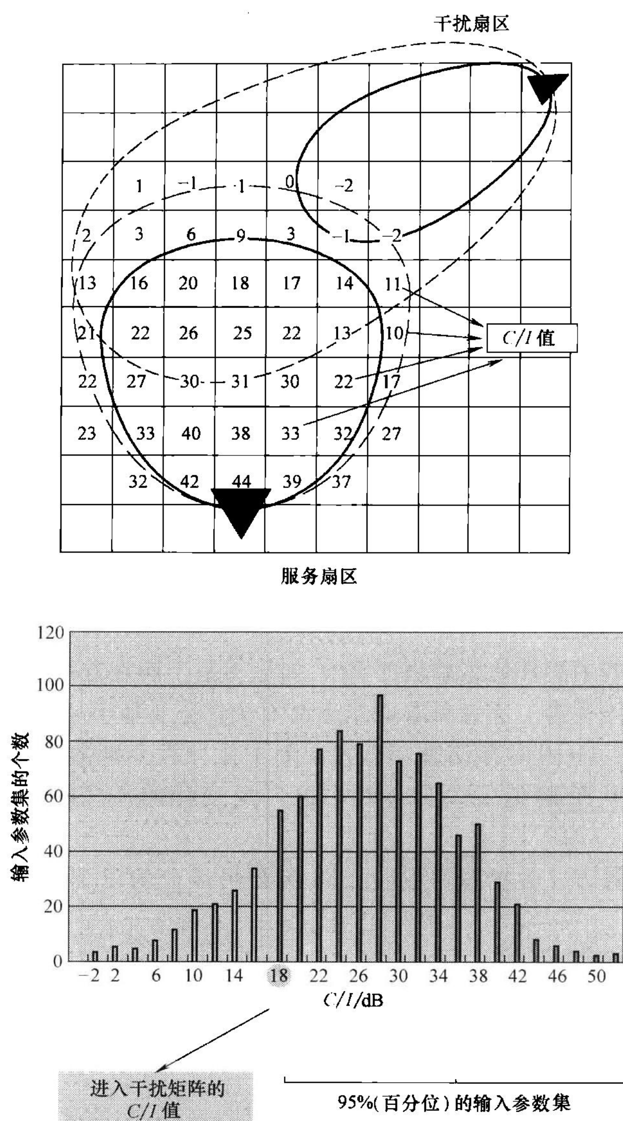


图 4.10　IM 计算准则

表 4.5　干扰矩阵举例

扇区	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ
AA	×	4	127	5	-2	-4	14	32	10	48
BB	13	×	-2	-1	-4	2	23	12	-7	18
CC	33	-1	×	7	15	19	19	-2	-2	4

（续）

扇区	AA	BB	CC	DD	EE	FF	GG	HH	II	JJ
DD	6	1	14	×	26	-5	-5	6	32	11
EE	-6	3	28	19	×	11	45	38	-5	44
FF	-6	3	37	-4	12	×	6	17	27	34
GG	14	7	25	-6	35	5	×	-2	35	12
HH	45	6	-2	5	29	16	-1	×	22	3
II	11	2	5	19	-4	21	35	23	×	32
JJ	43	4	-3	-3	28	18	13	~5	24	×

IM每条记录值表示干扰关系值，即两个扇区间的*C/I*百分比值（dB）表现为矩阵中的交点。因此，例如表4.5，如果复用相同信道，当AA在服务时，它平均（若IM表示平均值）比BB高4dB。这不能满足GSM中的可接受性能。没有重叠记录的小区可能会设定一个高的值（如100），表明进行频率复用是安全的还是不会造成其他损失的。显然，因为IM的对角线表示的是服务小区与本身的重叠，它是没有相关性的。

尽管频率规划中通常使用单值的IM，如果用基于满直方图的算法取代单值的，会获得更多的性能改善。这意味着并非逼近*C/I*分布或基于高斯或其他分布来计算中值和百分位数，IM此时存储整个直方图而不是计算个别数值。存储整个*C/I*直方图来计算复用代价避免了关于每对小区广泛变化的*C/I*随机变量分布的人为假设。

根据用来计算*C/I*数据源的不同，IM类型可以分为以下4种，包括任意混合组合：

1. 基于本地知识的IM

这种类型用在基于市场经验的手动频率规划中，不适用大规模的频谱规划。第5章会具体说明。

2. 基于传播预测的IM

传播模型普遍认为是不准确的，特别是在密集的市区环境中。通常误差可达到10dB。因此，在如今的高容量域需求下，这些IM并不适合用来发展可靠的频率规划。

3. 基于路测的IM

因为来自每个小区的信号电平是通过测量而非预测得到的，这些IM比基于预测的更加准确。由于传播模型不准确、每小区模型分类分配、天线模式和站点数据库错误导致的误差将不复存在。路测的要求如下：

1）确定路测的路径以保证每个小区内的整个服务区都被测量到，并且收集到

了足够多的采样点。

2）应用特殊的扫描仪测量所有（或大多数）干扰的 BCCH 信道。

3）在路测之前优化每个小区的 BSIC 分配，使相同 BCCH-BSIC 复用间距最大化，使小区标识更可靠。

路测较本地知识和传播预测而言，为计算 IM 提供了更精确的输入。然而路测耗时严重，并且 RxLev 测量值受到测量区域的限制，因此不能反映实际业务模式和室内传播的情况。

4. 基于移动测量记录（MMR）的 IM

这些测量结果由活跃模式的移动设备采集，它们报告了由 BCCH 和 BSIC 标记的服务小区信号和干扰信号[⊖]的区别。信号区别（dB）表示要使用相同频率的服务器和干扰间的 *C/I*。MMR 最初的目的是识别漏掉的邻区。从全 *C/I* 直方图到描述所选阈值以下 *C/I* 的 MMR 百分比的计数器，不同的 GSM 设备商所报告的 MMR 是不同的。

正确处理的 MMR 是自动频谱规划/优化过程中最重要的输入。基于 MMR 方法构造 IM 的优势如下：

1）MMR 不需要路测的时间和资源。

2）MMR 提供的数据在整个网络中具有典型性，它不因测量区域而有偏差，即对建筑内的干扰也适用。

3）生成的 IM 考虑了每个小区的实际服务区域，考虑了分层小区布局（HCL）优先权、控制小区边界和所有其他复杂性的 HO 参数。

4）数据处理受限于匹配 BCCH/BSIC 到小区。在路测中每个采样值不需要额外处理。

5）MMR 考虑了用户呼叫的实际位置和移动设备的实际信号电平。

IM 记录用在频率规划中以指示如下重要因素：

1）标识能分派给某一个发射机的信道，而不违背指定的同信道或邻信道 *C/I* 要求。

2）标识若分配给选定的发射机就会违背指定的同信道或邻信道 *C/I* 要求（冲突）的信道。

3）显示当前违反指定的同信道或邻信道 *C/I* 要求的情况。

除 IM，还有其他需考虑的因素，例如：

1）业务：根据小区业务需求确定的需要的信道数目。业务也用来为复用加权，这样承载较少业务的小区将更有可能复用。

2）邻区列表：同信道 BCCH 频率不能分配给邻接小区。

⊖ 最靠前的 6 个干扰在每个测量报告中每 0.48s 报告一次。

3）合波器约束：在分配给结合TRX的信道间维持最小频率间隔。

4）属于同一站点的小区间频率间隔等。

想满足这些规则以获得满意的频谱规划，如果不采用自动频率规划和优化的方法是非常耗时并且容易出现错误的，特别是在大型网络中。

4.10.3 自动频率规划

现在手动的频率规划基本已经被弃用。手动频谱规划主要以规划师的技巧和经验为基础来确定哪些小区配置同信道和邻信道，以交付合格的网络性能。由于对频率扩展和周期性网络范围的重新调整的需求，以及由于手动频率规划的限制，尤其是从资源成本（OPEX）和无法生成高质量的频率规划的方面来说，AFP在20世纪90年代成为商业上可行的方法。

AFP工具与传统手动方式相比，最大优势是优越的质量以及显著减少生成和实现频率规划的时间。这使工程人员可以更有效率，同时使他们能够在频率规划和网络优化策略中保持一致性。

频谱规划属于数学类的约束组合优化问题。优化算法的目标是在不违背限制条件的前提下自动规划频率以满足设计需求。数学上确定频率规划要求的正规方法是构造一个目标成本函数。适当定义成本函数对于AFP程序的成功至关重要。然而，因为关于需求的准确数学表达式并不显而易见，比如根据终端对最小频率空间的限制来最小化干扰，因此这并不是一项容易的工作。考虑到在数学上假设需求和约束的能力，AFP可以采用复合罚函数法，它基于一个简单的想法，即每一次违反信道规划程序前设定的约束都要被处罚。每当违反一个约束，成本函数值增加。换句话说，违反约束无法阻止AFP算法，但每次违反发生时，与特定的信道分配相关的成本增加，该计划被接受的机会降低。因此，在这个意义上是一种软约束，目标函数并不妨碍而是惩罚违反约束条件。通过这种方式最后获得的信道规划可能无法满足所有约束条件，但所违反的约束并不会严重降低性能。

目标函数通常分解为本地约束。然后分别计算每个约束的成本，再相加。从个别约束处罚集成的目标函数被称为聚合成本函数。一旦假设额外的要求，这种方法允许算法升级。然而，因为目标函数的定义可能出现冗余，这种聚合的方法计算效率低。总的聚合总和在每个测试系统配置的迭代循环中重复计算。迭代的重复直到没有约束违反（零成本函数）或当达到预选的最大迭代次数为止。此时，当前的参数集（频率规划）被冻结并提出以实施。

这个问题可能有一个吸引人的办法，即获取一切可用的信道并测试所有可能的频率规划组合。对每个配置计算 C/I 的结果，并选取最大 C/I 的配置。这种方法避免了对复杂的目标函数的需求，但实际却因过于缓慢而无法执行。因此，目标函数的定义是AFP解决方案的关键要素。这个定义必须满足施加给蜂窝系统的所有设

计要求和制约。技术上健全的频率规划方案应提供足够的灵活性，以适应众多设计要求。它们中的一些，从向客户提供的服务质量（避免干扰，服务所提供业务的能力）的角度考虑是基本要求，其他从蜂窝系统的硬件限制（合波器约束）上考虑是重要要求。最后，一些约束条件表明了频率规划师在信道分配格局方面遵循某些规律的选择。此外，关于在每一个特定的情况下哪些要求更重要，AFP 模块也应该允许频谱规划工程师作出决定。

另外，约束条件也必须被安置在目标函数中。自动生成的频率规划的质量还取决于工程师优先考虑这些限制并指定违反行为处罚的能力。典型的约束与频率复用（每小区/站点相同信道和相邻信道的限制）、合成器的特点、邻区列表的考虑、权限矩阵以及频率协调相关。

AFP 解决方案被认为是系统优化工具，因为它们使用现有的频率规划作为输入，并试图通过最小化成本函数产生一个更有效的信道分配计划。输入数据（包括规划面积和周围的缓冲地带）的准确性和完整性是准备频率计划的关键因素。AFP 过程的输入数据包括：

1）站点数据库：网络上所有小区的信息与它们现有的频率分配。

2）IM：优化算法利用此输入评价和评估候选的频率分配。

3）邻区列表：该算法可以防止为相邻小区分配相同或相邻信道的情况。

4）切换尝试：这个输入用于执行一个邻区审核，即确定过少 HO 尝试的并可以删除的邻区。此外，该输入还使算法将具有较高 HO 尝试次数的相邻小区的同信道复用最小化，这可以在这些切换区域减少干扰，在这些地区，移动设备更容易掉话或对占较小主导地位的小区启动高质量 HO。

5）业务：通过处罚携带较多业务的小区之间的复用，以尽力减少总干扰业务。

6）例外清单：例如对不同的小区关系和某些扇区的非法频率的分开要求。

这个输入数据用于分配违反约束的处罚。这一步需要先进的工程技术和经验，从而正确地对每个成本函数处罚相对重要性权重进行设置。该模型可以是完美的，但如果没有现实和建设性的处罚方法，其结果将是不正确的。通常情况下，系统默认的处罚（平均而言）是可以指定的，虽然可能不是最好的结果。目前还没有一个正式科学的方法为提供最优配置分配处罚，这需要射频规划者来建议最佳的设置。这似乎是一个任意的手动技术，但对于一个给定的网络一旦分配了处罚，这个过程是全自动并且十分确定的。软约束被分配了限定的处罚，硬约束是那些不被违反的。没有重视硬约束的配置将不被考虑。

4.10.4 GSM/GPRS/EDGE 的频谱自规划

因为 SON 的目标之一是在网络规划和优化的过程中尽量减少人为参与，GSM

频谱自规划的过程中需要沿着相同的理念设计。SON 频谱规划的目标可以概括如下：

1）根据实际网络统计，自主生成整个网络的频率规划以产生尽可能好的性能。整个频率规划过程的自动化是非常重要的，尤其是当运营商的重点是新技术（3G 和 4G），但在 GSM 中仍然存在重要的业务的情况下。

2）只对 KPI 低于可接受水平的子区域和小区簇进行重新调整（自动地）。

3）为新的站点进行频谱自规划。

4）较手动规划而言，最大限度地减少产生频率规划所需的时间。

5）允许自动选择频率规划策略（隔离与混合的 BCCH/TCH 频谱、MAL 大小、考虑业务分配等）。生成多个使用不同的策略的规划并对它们进行比较，这样能选择最好的规划策略。

产生一个新的频谱规划之前，必须遵循一些重要步骤以确保新的计划是最优的。每一步都可以被视为频谱自规划过程中的一个函数或成分。全自动化可以在其中的一些步骤应用：

1. 激活 MMR 之前清空 BSIC

旨在提高从 BCCH/BSIC 到小区匹配算法的可靠性，需要在 MMR 纪录之前清空 BSIC 规划。BSIC 清空的目的是最大化合作的 BCCH/BSIC 对之间的距离，以正确识别最可能的干扰以防多个小区复用相同的 BCCH/BSIC。

2. 数据一致性和完整性检查

如果输入的数据是不准确的，那么完成自动频谱规划将是次优的。可以自动进行各种测试和一致性检查，以确定输入的数据是否能有效优化。例子包括：

1）检查物理、网络、业务、HO 和 IM 数据的完整性。

2）识别平均邻区距离异常的小区以检测错误的关系。

3）识别小区与外围利用率的高低。

4）识别信道数和载频数的不一致。

3. BCCH 分配列表（BAL）评估

基于 MMR 的 IM 的完整性取决于衡量所有潜在干扰的能力。一个潜在干扰的 BCCH 需要一个足够长的时间来扫描。要扫描一个信道，它必须是小区 BAL 的一部分，它通常只包含邻区。添加信道到 BAL 的过程可以自动化，需留意的是 BAL 大小限制为 32 个信道（如果没有 UMTS 邻区则扩展到 64 个）。

4. 生成 BAL

完全自动化过程的一部分，可以编写脚本并加载到 OSS 以更新将激活 MMR 的小区的 BAL。

5. 每日自动进行 MMR 检查以确保平稳的数据采集

数据采集的任何问题必须及早发现，以确保所收集的数据集对进行正确频谱规

划是充分的。

6. 邻区列表删除

每日 HO 尝试计数器应为 2～3 周收集，应该是低计数的邻区能被删除，以避免不必要的限制和潜在 BAL 大小的增加。

7. TRX 数量减少

新站点的整合有时不会伴随着潜在可行的周围站点 TRX 数量的减少。确保只保持必要的 TRX 来减少干扰并使规划更容易。

8. 频谱规划的生成和验证

这是频谱自规划过程的最后一步，接着是所有的完整性检查和测量收集。

4.10.5　折中和频谱规划评估

正如大多数优化活动，频谱自规划算法也必定包含一定的折中：

1. 性能与容量

正如在任何移动通信技术中一样，GSM 的 QoS 可以以容量为代价来提高。相反，业务增长会增加干扰，并对服务质量产生负面影响。

2. 不同规划策略的简洁性与性能

1）1×1：没有 TCH 规划的情况下，在大 MAL 中整个 TCH 池的简单使用。该规划策略要求 MAIO 和 HSN 规划，即它不需要任何 TCH 规划。

2）1×3：每个站点简单使用三个不同 MAL。这一规划策略只要求 MAIO 和 HSN 规划，也就是说，它不需要任何 TCH 规划。

3）Ad-hoc：为每个单元配置定制的 MAL 的复杂方法。与这一策略相关频率规划的创建需要使用 AFP 解决方案，它和 1×1 及 1×3 复用相比，通常表现出显著的性能和有效频率负载（EFL）的改善。

3. 接入率和切换性能与通话质量性能

平衡 BCCH 信道（处理 SDCCH 可达性和 HO）和 TCH 信道（承载语音业务）的数量。

4. 底层/覆盖层

底层/覆盖层的概念在主要的 GSM 供应商中以不同的形式存在，用来将一个小区分成两个服务区。覆盖层是接近高信号电平小区的区域，底层覆盖其余区域，包括小区边缘。为了在不降低性能的前提下增加 BCCH 层的利用率，BCCH 被分配到覆盖层，TCH 层分配到底层，底层对 TCH 跳频的好处是很重要的。在这样做时，小区已被有效地分成两个子单元，每个都有其自己的 TRX。小区集群效率降低。

5. BCCH 与 TCH 的业务分配优先级

在一般情况下，最佳设置应取决于小区电平，即提供最佳性能的层应优先选择服务业务。然而，即使 BCCH 层的 RxQual 可能优于 TCH 层，TCH 层依然可能因为

频率分集增益有更好的表现。因此，一个简单实用的规则是比较样本中BCCH RxQual4～7和TCH RxQual5～7的百分比，因为BCCH（无跳频）需要附加的RxQual4提供相当于TCH层跳频的FER性能数据。对于GPRS/EDGE，供应商每年都会报告RLC吞吐量，从而决定应该首选哪一层。

6. DL与UL性能

在一般情况下，相比收发基站（BTS）而言，由于移动台接收机简单，噪声系数更高，并且没有天线分集，GSM性能在DL是受限的。DL也受限于BCCH上连续的满功率传输。然而，某些小区在UL可能也会受到限制，如较高的站点会受到其他小区服务的大量手机产生的干扰。UL性能的提高可以通过混合（部分或全部）BCCH和TCH信道池，以在TCH信道优先分配的负载适度的网络中，增加潜在有用的频率数量。UL的改善来自UL BCCH双工配对信道的低利用率，否则很可能不被用在UL隔离频谱的情况下。

了解这些和其他的折中，在创建一个技术上完善的GSM/GPRS/EDGE自频谱规划方案中很重要。自频谱规划方案产生的频率规划质量需要在实施前和实施后进行评估。而KPI是实施后评价，仿真是在对实时网络推出新的频谱计划之前执行。仿真的目的是对可能的多个AFP场景进行排序，并选择最有可能的候选方案实施。这些场景可能会因频谱规划策略或是分配到各种制约因素的相对权重而有所不同。例如，邻区或站点的复用与IM成本构成可能相对平衡。由于选择最优方案的重要性，嵌入一个QoS模拟器来自动和便捷地为优化方案排序，是AFP解决方案中的关键。通常情况下，RxQual5～7的比例是主要的仿真对比指标。另一个有用的指标是EFL，它描述了网络效率，定义为通道加载的平均持续时间：

$$\mathrm{EFL}=\frac{E_{\mathrm{Tot}}(1-0.5\mathrm{HR})}{N_{\mathrm{TSL}}N_{\mathrm{f}}N_{\mathrm{s}}} \tag{4.14}$$

式中　E_{Tot}——所有用户的Erlang数，通常是在网络繁忙时期进行评估；

HR——半速率使用率[32]；

N_{TSL}——平均每TRX的时隙数；

N_{f}——频率信道数；

N_{s}——活跃扇区数。

EFL需要同QoS一起进行评估，因为网络可以在较低EFL的情况下实现较好的QoS（即基础设施的成本较高）。因此，当比较QoS时，指定EFL是公平的做法，这样可避免倾向使用频谱利用率低的昂贵网络，而弃用了紧密而高效的频谱利用率的网络。虽然RxQual和EFL可能是解析地进行模拟和计算，更多有效的直接评估方法大多是在通过实施该计划后的测量中得到的。评估的KPI已列在4.10.1节中，频谱重新规划的预期结果是改善所有这些KPI。

4.11　3G 扰码的自动规划

在通用移动通信系统（UMTS）中，扰码被用来区分和解码来自不同信号源的信号（小区或用户设备）。它被使用在下行和上行链路信道化过程的顶层。若不知道信源使用的确切扰码序列，信号接收者就不能解码出原始的用户数据。在下行链路中，扰码被用来惟一区分来自不同小区（扇区）的信号，而在上行链路中则用来区分不同用户设备的信号。

4.11.1　UMTS-FDD 中的扰码

4.11.1.1　下行链路扰码

UMTS-FDD 使用 8192 个扰码。这些扰码被划分成大小为 16 的扰码组，共 512 组。每组包含一个主扰码（PSC）和 15 个辅扰码。512 个 PSC 的序号为 0～511，被进一步划分为 64 组，每组 8 个。扰码的结构如图 4.11 和图 4.12 所示。

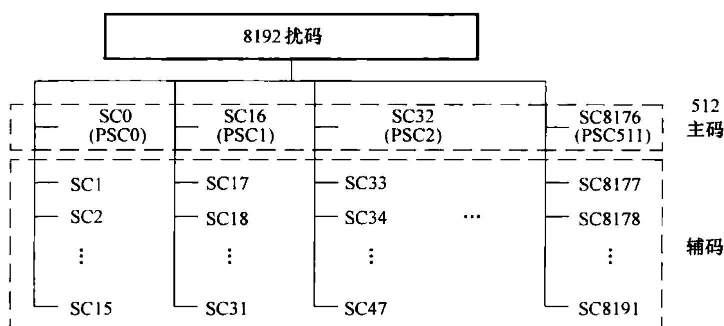


图 4.11　UMTS-FDD 的扰码结构

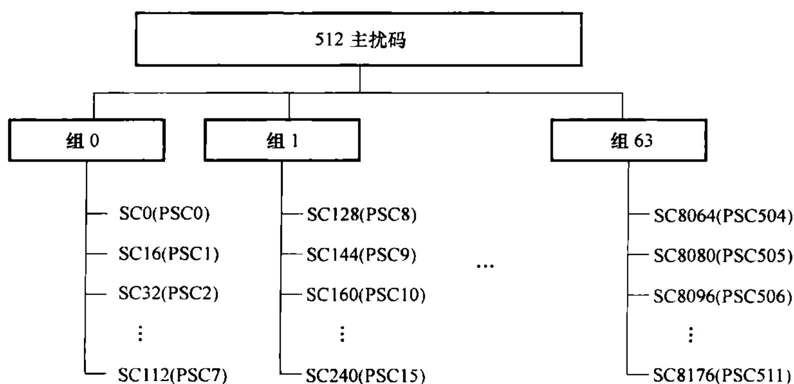


图 4.12　UMTS-FDD 的主扰码结构

UMTS-FDD系统中的每个小区都会被分配一个PSC作为在网络中的标识，原理与GSM网络使用aBSIC/BCCH的组合来标识一个小区相类似。

小区的PSC不仅惟一标识UMTS小区，还决定了辅同步信道（S-SCH）的辅同步码（SSC）的值。辅同步信道可以帮助移动终端与服务小区进行帧同步。UMTS-FDD规范定义了64个不同的码组分配给辅同步信道。码组被设计成由15个码字组成，经过小于15位的周期移位仍能保持惟一。辅同步信道组与PSC组存在一一对应的关系。因此，基站使用辅同步信道作为指向合适的PSC组的指针，帮助移动终端确定小区使用的扰码。这样一来小区及其邻区的PSC分配会影响小区搜索、同步的时间和终端的电池寿命[49]。不恰当的PSC分配会对网络的呼叫质量、切换（HO）和移动性造成负面影响。

4.11.1.2　上行扰码

上行信道使用复扰码序列进行加扰。UMTS-FDD系统定义了一长一短两种扰码序列。共有2^{24}个长上行链路扰码和2^{24}个短上行链路扰码。长码是Gold码，在基站使用Rake接收时使用。长码有很低的互相关性，这样就能满足尽可能多的用户以最小的互干扰使用无线信道。如果基站使用了先进的多用户检测器或干扰消除接收器，短码可以让此类接收机架构的实施更为容易[50]。

有数以百万计的扰码可供上行链路使用，无线网络控制器（RNC）在每个呼叫基础的连接建立阶段对它们进行分配。2^{24}个长扰码和短扰码在规划过程划分给各个RNC，从而每个RNC有其自己的规划范围。在上行链路，扰码不仅被用来区分来自不同移动终端的信号，还是提供加密和隐私保护的工具。由于上行链路扰码有数百万之多，所以不需要复杂的规划过程，扰码在各个RNC间可以很容易地区分开来。

4.11.2　主扰码规划

就像在4.11.1.1节介绍的那样，PSC被用来惟一标识UMTS中的小区，如同GSM系统中使用BSIC-BCCH来惟一标识一个GSM小区一样。512个PSC使用不同的Gold码序列故而它们不受一些在CDMA系统㊀使用的规划准则的限制。UMTS是直接序列扩频CDMA系统，所有扇区使用相同的载频。PSC规划就必须将小区间的距离、传播/干扰的耦合和它们的邻区关系等因素考虑在内。

PSC干扰不仅导致码干扰，还会引起码混淆。当两个小区使用相同PSC且有强信号重叠区域时会发生码干扰。码干扰会令UE很难对那些使用了相同PSC的小区的信号进行解码，使通话质量下降，还可能引起掉话。值得注意的是，分配相邻

㊀ 例如，IS-95使用512的PN偏移（码）。分别代表相同码的不同时移。因此，如果导频信号传播了一定的距离，分配到某个扇区的码可以属于另一个扇区。PN偏移规划必须考虑到码混淆，并且存在基于扇区定位的码分配上的限制。

PSC 给有强覆盖重叠的小区并不会引起码干扰或信号干扰，这是由于 PSC 代表了独立的编码，而不是分隔的信道或是一个给定码的不同移位。

相邻小区若与其他小区有相同的 PSC，在切换时它是不能被惟一识别出的。码混淆发生在服务小区有两个或多个邻区使用相同 PSC，或是服务小区某邻区的其他邻区 PSC 与服务小区相同的情形。使用相同 PSC 的小区会对连接至服务小区的移动终端产生码混淆。码混淆会触发能够为 UE 基于 PSC 测量的激活集增加邻区的 1A 事件㊀，导致增加一个使用相同 PSC 的不同小区。一旦基于错误测量的邻区被添加进来，1B㊁和 1C㊂事件就会被触发，替换或者移除那个邻区。此外，服务小区不应复用直接邻区或者复合邻区（复合邻区列表由激活集里所有小区的邻区列表综合而成）的 PSC。另外为了简化系统优化，确保 PSC 只在相距很远的扇区间复用也是很重要的。这就使基于 PSC 报告的小区精确标识有实现的可能，还可以帮助识别遗漏的邻区，发现过覆盖的小区。

接下来将详细介绍 PSC 规划的原则和限制条件：

1. 相邻小区

PSC 规划需确保小区没有复用其直接邻区和复合邻区的 PSC，并且复合邻区列表中的 PSC 是惟一的。相邻小区使用相同的 PSC 会导致网络的混淆，系统会切换至错误的小区，从而使系统性能下降。UMTS 系统支持软切换（SHO），此时，UE 可以同时与不止一个小区进行通信。软切换中 UE 的邻区列表是激活集中所有服务小区邻区列表的综合。这样一来不仅要避免直接邻区间 PSC 的直接复用，而且应注意回避规定邻区（复合邻区列表）间的 PSC 复用。如图 4.13 所示的 5 个邻区限制条件依重要性进行排列，在规划过程中必须纳入考虑范围。

（1）服务小区复用直接邻区

服务小区不应该使用与其任意一个主邻区相同的 PSC。这是 PSC 邻区复用中最苛刻的限制。如果服务小区复用了直接邻区的 PSC，服务小区和邻区间进行软切换会发生失败，邻区会对服务小区产生码干扰，特别是在小区边缘，服务小区信号较弱的区域。

（2）直接邻区 PSC 复用

服务小区的两个或更多主邻区不应使用一样的 PSC。这是第二重要的复用限制。服务小区没有办法惟一识别出与报告的 PSC 相关联的小区，因为可能是众多相同 PSC 邻区中的任意一个，故而邻区混淆会出现在使用相同 PSC 的邻区间。导

㊀ 1A 事件，又称无线链路增加请求事件，它报告了将被添加到活动集的相邻小区，这个邻区不在活动集的导频质量由一个预定义的标准来衡量。

㊁ 1B 事件，又称无线链路移除请求，指小区的导频测量满足预定标准时请求移除小区的事件。

㊂ 1C 事件，是无线链路增换操作的结合，指在激活集已经满了的情况下，一个不在激活集的邻小区的导频的测量值满足预定标准，从而请求交换激活集和监视集中元素的事件。

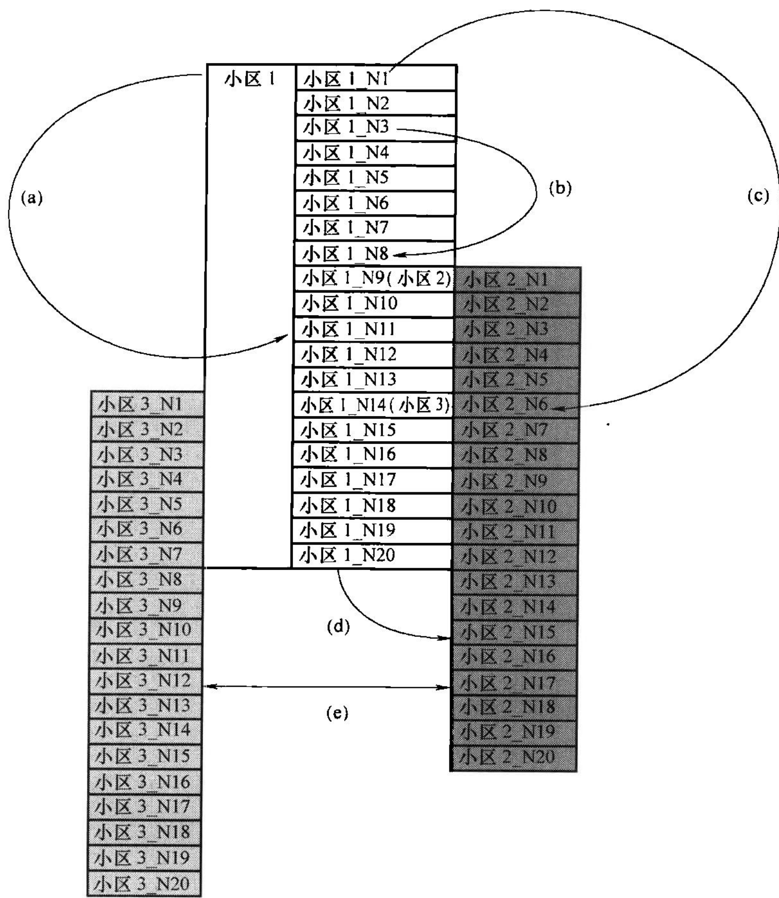


图 4.13 主扰码邻区复用

致向错误的邻区进行软切换。

(3) 服务小区复用邻区的一个直接邻区

UE 可能与复合邻区列表中的任意成员进行软切换，包括服务小区的主邻区以及激活集中其他小区的邻区，后者可能并不是服务小区的直接邻区。如果一个复合邻区使用和服务小区一样的 PSC，并且有较强接收信号电平，就可能会引起码干扰，并且有很大的可能会导致该复合邻区软切换不能成功进行。

(4) 直接邻区和非直接邻区 PSC 复用

直接邻区即主邻区和非直接邻区不应该共享相同的 PSC。在复合邻区列表中使用相同 PSC 的小区间会发生邻区混淆。

(5) 非直接邻区 PSC 复用

非直接邻区间不应有共用相同 PSC 的情形。

2. PSC 干扰

在 UMTS 系统中，PSC 干扰体现为码干扰或码混淆的形式。并非是定义上的邻区却对服务小区覆盖范围有过覆盖现象的小区不应复用服务小区的 PSC，或是服务小区主邻区、复合邻区的 PSC。复用服务小区 PSC 的过覆盖小区会导致码干扰，并且可能影响接收。此外，复用服务小区邻区 PSC 的过覆盖小区会引起码混淆，并基于对过覆盖小区的测量值触发向该邻区的软切换，如图 4.14 所示。复用邻区 PSC 的过覆盖小区若与邻区有强信号重叠区域，会引起对该邻区的码干扰，影响信号质量，并且由于该邻区信号不能被正确解码导致软切换失败。

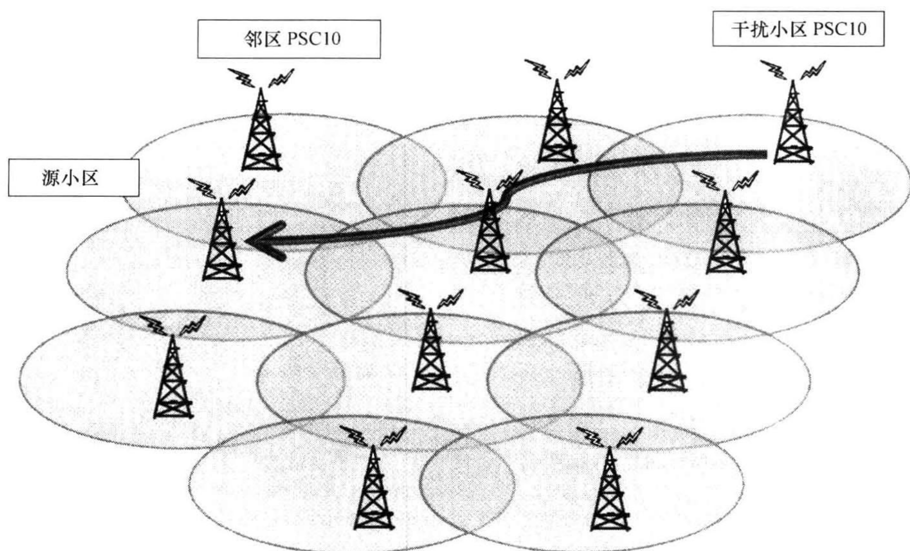


图 4.14　PSC 干扰

3. 复用距离

确保复用相同 PSC 的小区间无线距离（即路径损耗）足够大可以提高基于移动终端测量的系统优化任务的精确度。最大化使用相同 PSC 的小区间复用距离可以使终端报告的 PSC 更容易地与网络中相应小区惟一联系起来，且可信度较高。这有助于射频优化和邻区自动优化。

PSC 规划和优化可以进一步基于运营商最佳实践经验来使用 PSC 的限制和划分。例如，可以从一个预留的集合里给过覆盖小区和高的站点分配 PSC，这样一来它们的干扰就可以很容易探测出来，不会出现基于移动终端报告的 PSC 判断而产生歧义。建筑内的站点和家庭基站可以有为它们保留的自己的码集合。对扩容和新站点也可以预留一个码集合。确保相邻小区不使用相同组的 PSC 从而延长电池寿命也是一种常见的做法，虽然这么做会对系统捕获时间产生负面影响[49]。一种确

保小区邻区分属不同 PSC 组的方法如图 4.15 所示：将 512 个可用 PSC 划分为 8 个带有“颜色”的组，每组 64 个 PSC 属于不同的 PSC 组。

	PSC组																															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	......	......	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
色码组	PSC																															
1	0	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	104	112	......	......	392	400	408	416	424	432	440	448	456	464	472	480	488	496	504
2	1	9	17	25	33	41	49	57	65	73	81	89	97	105	113	......	......	393	401	409	417	425	433	441	449	457	465	473	481	489	497	505
3	2	10	18	26	34	42	50	58	66	74	82	90	98	106	114	......	......	394	402	410	418	426	434	442	450	458	466	474	482	490	498	506
4	3	11	19	27	35	43	51	59	67	75	83	91	99	107	115	......	......	395	403	411	419	427	435	443	451	459	467	475	483	491	499	507
5	4	12	20	28	36	44	52	60	68	76	84	92	100	108	116	......	......	396	404	412	420	428	436	444	452	460	468	476	484	492	500	508
6	5	13	21	29	37	45	53	61	69	77	85	93	101	109	117	......	......	397	405	413	421	429	437	445	453	461	469	477	485	493	501	509
7	6	14	22	30	38	46	54	62	70	78	86	94	102	110	118	......	......	398	406	414	422	430	438	446	454	462	470	478	486	494	502	510
8	7	15	23	31	39	47	55	63	71	79	87	95	103	111	119	......	......	399	407	415	423	431	439	447	455	463	471	479	487	495	503	511

图 4.15　PSC 色码组划分

在网络中使用色码组划分的小区被分成地理上的簇（每簇至多 512 个小区）之后，每簇再细分为 8 个区域，每个区域分配 8 个色码组中的其中一个（见图 4.16）。这就确保了在每个区域内分配给小区和它们邻区的 PSC 不属于同一 PSC 组。这一方法减少了与邻区 PSC 同组的小区的数量。但是，区域边缘的小区仍然会有邻区使用与它们相同组的 PSC。

图 4.16　分区域划分 PSC 色码

4.11.3　自组织网络中的 PSC 规划和优化

UMTS 系统提供了 512 个 PSC，使得 PSC 规划相比较 TDMA/FDMA 系统中的频谱规划更容易。虽说如此，对有高密度站点或快速扩张的网络，PSC 规划就成为了挑战。这是由于网络运营商需要不断地更新、优化现有的 PSC 规划，还得为新站点确定新的 PSC。

PSC 分配属于 NP 难题的范畴[19,20]，因此最优的 PSC 分配方案可以通过使用优化搜索算法得到，例如贪婪搜索、SA 算法[21]和遗传算法等。配置空间包含所有可能的待优化小区 PSC 分配方案。可用成本函数将所有可能的 PSC 分配方案映射成一个非负数或一个成本值。如果该成本函数将本节前述 PSC 规划规则和限制（距离、干扰和邻区关系）都纳入模型内，所有成本要素都赋予合适的权重，那么

总成本最小的分配方案将会是最优的那个。

PSC 自动优化/规划可以作为一个网络自组织功能或是 3G 系统网络自组织用例实现。这一功能可以优化新站点或是已存在站点的 PSC 分配。传统触发 PSC 的条件包括增加了新站点、天线配置变更（例如电气倾角、物理倾角和方位角）和传输功率的变化。这些变化会对邻区列表，小区间互干扰和过覆盖小区产生影响。

为了优化活动状态的站点，PSC 优化可以周期性（一日或一周一次）进行或是事件触发进行。例如当给定扇区的邻区列表更新时，就可请求 PSC 优化功能调整该扇区及其邻区的 PSC 配置方案（因为更新邻区列表可能引起新的 PSC 冲突和复用）。

配置管理（CM）和性能管理（PM）的数据都可为 PSC 优化所用。配置管理的数据提供网络拓扑的信息，包括邻区列表和现行 PSC 分配规划。通过分析配置管理的信息，可以发现邻区间 PSC 冲突和扇区间有问题的 PSC 复用。邻区列表的变更也会体现在配置管理信息中，并可能触发 PSC 优化。由性能管理数据可以发现干扰信息。此外，PSC 优化功能可以借助性能管理计数器和呼叫纪录将遗漏的邻区或过覆盖小区考虑在内，从而避免了可能与现有邻区混淆的扇区 PSC 复用。如果移动测量报告的被探测小区既非已被定义的也不是被监视的信息，则该小区可以认为是遗漏的邻区。利用移动测量报告的传播延迟信息，可以确定过覆盖小区。

4.12　LTE 物理小区标识自规划

LTE 物理小区标识（PCI）的规划类似于 4.11 节所述的 UMTS 扰码的规划过程，两种技术在思想上如出一辙。

在 LTE 系统中，PCI 在几种物理层过程中用于识别系统中不同的小区，成为不可或缺的小区配置参数之一[51]。PCI 分配的主要目的是确保 UE 能够区分接收到的信号的来源；另外，PCI 序列对下行链路参考信号序列的生成起决定作用，而下行参考信号是 UE 用来解调接收信号的。PCI 还作用于一系列与小区特定配置相关的过程，例如调制前的扰码：相邻小区所使用的扰码应该区分开，这样才能确保干扰随机化和信道编码的满处理增益。另外，用于生成上行参考信号序列的调频方式选择和资源元素对信道的映射都受到 PCI 配置的影响。

4.12.1　LTE 物理小区标识

类似于 WCDMA/HSPA 中的扰码，LTE 参考信号序列可视为 PCI 的指示符，504 种参考信号序列对应 504 个不同的小区 ID，每一个参考信号序列由一个伪随机序列和一个正交序列共同构成，有三个不同的二维正交序列和 168 个二维的伪随机序列。每个小区 ID 惟一对应一个正交序列和一个伪随机序列的组合，这样就有

504 个惟一的小区 ID（168 个 PCI 组，每组 3 个 PCI）。PCI 可表达为式（4.15），其中 $N_{ID}^{(1)}$ 代表 PCI 组，范围为 0～167；$N_{ID}^{(2)}$ 取值范围为 0～2，进一步确定 PCI 组内确切的小区 ID。

$$N_{ID}^{cell} = 3N_{ID}^{(1)} + N_{ID}^{(2)} \tag{4.15}$$

PCI 同时也决定了小区的主同步和辅同步信号序列的生成。主同步和辅同步信号帮助 UE 在小区搜索过程中获取时间同步和频率同步[27]。通过这些信号，UE 可以探测到 PCI 从而获得生成小区导频信号序列的信息。LTE 中的 PCI 是非常短的标识符，移动设备不需解码整个广播信道就可以读出来。由于只有 504 个可用的值，这些小区 ID 需要在网络中复用，如此就需要非常小心地规划 PCI 分配来避免冲突和不必要的干扰。

4.12.2　LTE 物理小区标识规划

规划的主要目标是给各个小区分配 PCI 使得移动终端能够准确地识别出相邻小区。要达到这个目标，必须满足两个条件：分配结果必须满足不冲突和不混淆。前者意为两个相邻小区不能使用相同的 PCI，后者表示某个小区的任意两个邻区不能使用相同 PCI，如图 4.17 所示。

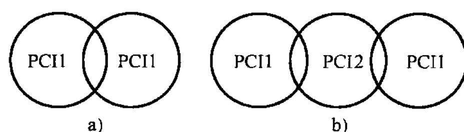


图 4.17　PCI 冲突和混淆
a）PCI 冲突　b）PCI 混淆

尽管存在着 504 个不同的 ID，实际可供选择使用的标识可能会被限制在一个更小的集合中，以实现各种规划的要求。例如，为宏小区、微小区和家庭基站划分 PCI 子集合，以简化某层中新小区加入时的配置操作，同时不影响其他层对 PCI 的使用；或是为实现网络边界（例如两国之间）的规划约束划分子集合，因为在边界处协调不同网络运营商是很困难的。

PCI 规划过程应考虑复用的距离，有效的规划应该最大化使用相同 PCI 扇区的无线距离，从而使得冲突和混淆更容易避免，实现移动终端准确地区分测量到的小区。考虑到这个因素，不同小区的物理信息（至少包括位置和基本的方位）是不可或缺的。

还有一些其他的非常好的做法，例如：为同一个 eNodeB 下的小区分配同小区标识组内的 PCI，这样一来它们的参考信号基于相同的伪随机序列但用不同的正交序列，使得相互之间的干扰最小。

运营商可利用规划工具和其他自动解决方案来开发 PCI 规划方案，不同的算法可用来求得最优 PCI 分配方案，而对算法的选择实际上体现了对结果最优化、实现成本以及复杂度间的典型权衡过程。

PCI 分配属于 NP 难问题[19]的范畴，故而求解最优 PCI 分配方案可以使用优化

搜索技术，例如贪婪搜索、SA[21]等。配置空间包含对所有待优化小区的可能 PCI 分配方案，可用一个目标函数或代价函数映射每个可能的 PCI 分配方案为一个非负数或成本值。如果该目标函数是准确的并且包含所有必需的代价要素，并赋给它们恰当的权重，则代价最小的那个分配方案会是最优的。代价函数必须将扇区间的距离考虑在内，包括从每个扇区和邻区接收的信号。用代价函数表示 PCI 复用时产生的冲突本质上与 4.11.2 节阐述的类似，除了复合邻区列表相关的部分，因为 LTE 并不支持软切换。

另外一种方法在参考文献［52］中有所阐述，这种方法将著名的图着色问题应用于 PCI 分配中。小区被描绘为顶点，相邻的小区用边连接，在最终绘制图中，两个相连的节点不能被分配同样的颜色。该方法提供了一个初始部署的解决方案，也适应网络增长、需要添加新小区的情况；这个算法也适用于网络自配置过程中的 PCI 自动分配，具体将在接下来的小节中叙述。

4.12.3　网络自组织中的 PCI 自动规划

PCI 自动规划是下一代移动网络（NGMN）联盟[1]定义的自配置用例之一，PCI 是新建 eNodeB 需要自规划的无线参数之一。自动 PCI 规划作为网络自组织的一部分，与传统规划技术相比有很多优势，用配置自动化代替无聊而复杂的人工配置过程，避免了人为的失误。

由 3GPP 提议的 “The SON Use Case Automatic Configuration of Physical Cell Identity”[53]旨在自动配置新添加小区的 PCI 满足不冲突和不混淆的要求，但目前仍没有一套完善的机制被标准化。参考文献[54,55]提出并讨论了不同的提案，其中一些厂商支持分布式的解决方案，实现了大量 eNodeB 的 PCI 自动配置；另一部分则更多地倾向于集中控制，由运行与维护（O&M）系统负责并作最终的决定。

一种分布式配置方法[55]提出：新小区可以从一个预设的集合中随机地选择一个临时 PCI，然后在一段时间内使用 ANR 功能获取邻区的 PCI 信息，最终根据避免冲突和混淆的原则改变其正在使用的 PCI。图 4.18 说明了上面解释的场景，其中中心小区是新添加的小区。

另一种基于集中解决的方案[54]被提出。该方法依靠对中央存储的 eNodeB 信息进行集中处理，这些信息包括 eNodeB 的位置、所组成的小区和相关的配置信息，如 PCI。假设 eNodeB 位置是可知的，中央实体就可根据简单的距离计算来自动为 eNodeB 提供满足相应要求的最优 PCI 分配方案。位置信息不需要特别准确，另外算法还可以基于其他类型的信息进行，例如邻区关系等。相比之下，分布式的方法不能保证方案满足不冲突和不混淆，还需要额外的优化机制来解决次优或误配置的问题。

因为没有相应的流程被标准化，各厂商的配置方案不尽相同，设备商因此也提

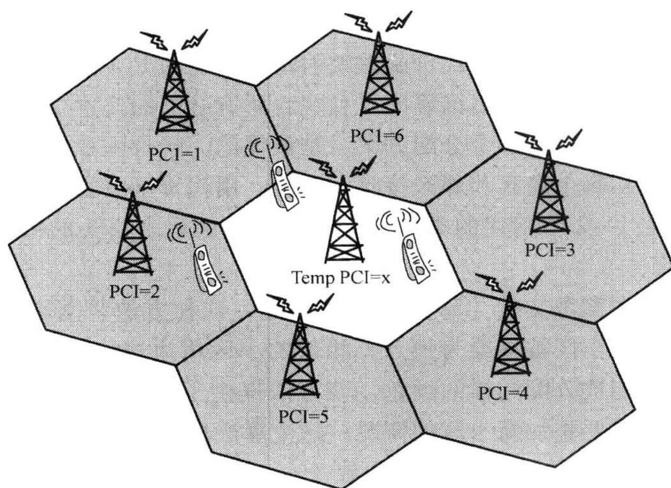


图 4.18 部署一个新加入小区的示例

出了具有创新性且差异化的解决方案。同时，由于 O&M 提供了网络的全局视野，使得分配更为高效，避免冲突和混淆的能力更强大，在 PCI 规划过程中扮演了重要角色，因此 O&M 的这种能力也给方案的差异化充足的发展空间。GSM 中优化 BSIC/BCCH 分配的方案和 UMTS 中的扰码分配方案在各自领域都被证明有效，也可以用于优化 LTE 的 PCI 分配。

参考文献

[1] Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance, Deliverable (2008) *NGMN Use Cases Related to Self Organising Network, Overall Description*, Version 2.02, December 2008, www.ngmn.org (accessed 3 June 2011).

[2] Hata, M. and Nagatsu, T. (1980) Mobile Location Using Signal Strength Measurements in Cellular Systems, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **29**, pp. 245–352.

[3] COST 231 TD(91)109 (1991) *1800 MHz Mobile Net Planning Based on 900 MHz Measurements.*

[4] Lee, W.C.Y. (1993) *Mobile Communications Design Fundamentals*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

[5] Kostanic, I., Guerra, I., Faour, N. Zec, J. and Susanj, M. (2003) Optimization and Application of W.C.Y Lee Micro-cell Propagation Model in 850 MHz Frequency Band, *Proceedings of Wireless Networking Symposium*, Austin, TX.

[6] The Nielsen Company (2010) *Quantifying the Mobile Data Tsunami and its Implications*, 30 June 2010, http://blog.nielsen.com (accessed accessed 3 June 2011).

[7] Tsang, D. and Ross, K. (1990) Algorithms to determine exact blocking probabilities for multirate tree networks, *IEEE Transactions on Communications*, **38**(2), pp. 1226–1271.

[8] Moungnoul, P., Laipat, N., Hung, T. and Paungma, T. (2005) GSM Traffic Forecast by Combining Forecasting Technique, *IEEE Fifth International Conference on Information, Communications and Signal Processing*, pp. 429–433.

[9] Tikunov, D. and Nishimura, T. (2007) Traffic prediction for mobile network using Holt-Winter's exponential smoothing, *IEEE 15th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks*, SoftCOM 2007, pp. 1–5, September 2007.

[10] Ramos-Escano, G. and Pedraza, S. (2004), *A-bis Interface Dimensioning for EGPRS Technology, IEEE Vehicular Technology Conference*, **6**, pp. 4471–4475, Fall/September 2004.
[11] Plummer, D. (1982) *An Ethernet Address Resolution Protocol*, RFC 826, MIT-LCS, November 1982, http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc826.txt (accessed accessed 3 June 2011).
[12] Droms, R. (1997) *Dynamic Host Configuration Protocol*, RFC 2131, March 1997, http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2131.txt (accessed accessed 3 June 2011).
[13] Moy, J. (1998) *OSPF Version 2*, RFC 2328, April 1998, http://www.rfc-editor.org/rfc/rfc2328.txt (accessed accessed 3 June 2011).
[14] Cisco Systems Inc. (2005) *Enhanced Interior Gateway Routing Protocol*, September 2005, http://www.cisco.com/en/US/tech/tk365/technologies_white_paper09186a0080094cb7.shtml (accessed accessed 3 June 2011).
[15] Dijkstra, E. (1959) A note on two problems in connexion with graphs, *Numerische Mathematik*, **1**, pp. 269–271.
[16] ATM Forum Technical Committee (2002) *ATM Inter-Network Interface (AINI) Specification*, (af-cs-0.125.001), http://www.broadband-forum.org (accessed accessed 3 June 2011).
[17] Cisco Systems Inc. (2004) *Introduction to PNNI*, April 2004, http://www.cisco.com/en/US/docs/switches/wan/mgx/software/mgx_r5.0/data/pnni/network/planning/guide/pintro.pdf (accessed accessed 3 June 2011).
[18] Cisco Systems Inc. (2007) *Cisco ONS 15454 SDH Reference Manual*, Release 4.0., 23 October 2007, http://www.cisco.com/en/US/docs/optical/15000r4_0/15454/sdh/reference/guide/sdh40ref.html (accessed 3 June 2011).
[19] Evans, J. R. and Minieka, E. (1992) *Optimization Algorithms For Networks And Graphs*, Marcel Dekker Inc.
[20] Jamaa, S., Altman, Z., Picard, J.M. and Fourestie, B. (2003) *Optimisation des reseaux mobiles utilisant les Algorithms Genetiques*, Chapter 8 in 'Metaheuristiques pour L'optimisation Dificile', J. Dreo et al. (eds.) Eyrolles.
[21] Hurley, S. (2000) Automatic base station selection and configuration in mobile networks, *52nd IEEE Vehicular Technology Conference*, **6**, pp. 2585–2592, September 2000.
[22] Goldberg, D.E. (1989) *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Comp. Inc., New York.
[23] Altman, Z. Picard, J.M., Ben Jamaa, S. et al. (2002) New Challenges in Automatic Cell Planning of UMTS Networks, *IEEE Vehicular Technology Conference*, **2**, pp. 951–954, Fall/September 2002.
[24] Lee, C. Y. and Kang, H. G. (2000) Cell Planning with Capacity Expansion in Mobile Communications: A Tabu Search Approach, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **49**, pp. 1678–1691, September 2000.
[25] Cormen, T. H. Leiserson, C. E. Rivest, R. L. and Setin, C. (1990) *Introduction to Algorithms*, MIT Press and McGraw-Hill.
[26] Holma, H. and Toskala, A. (eds.) (2004) *WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
[27] Holma, H. and Toskala, A. (eds.) (2009) *LTE for UMTS - OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
[28] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group GSM/EDGE Radio Access Network (2006) *Physical Layer on the Radio Path; General Description*, 3GPP TS 45.001 Version 7.3.0, Release 7, 17 October 2006, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/45_series/45.001/45001-730.zip (accessed 3 June 2011).
[29] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (1999) *RF Parameters in Support of Radio Resource Management*, 3GPP TS 25.103 Version 2.0.0, Release 99, 13 October 1999, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.103/25103-200.zip (accessed 3 June 2011).
[30] Magnusson, S. and Olofsson, H. (1997) Dynamic neighbor cell list planning in a microcellular network, *Proceedings of the 1997 IEEE 6th International Conference on Universal Personal Communications*, **1**, pp. 223–227, October 1997.
[31] Parodi, F., Kylvaja, M., Alford, G., Li, J. and Pradas, J. (2007) An Automatic Procedure for Neighbor Cell List Definition in Cellular Networks, *IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Network*, pp. 1–6, June 2007.
[32] Halonen, T., Romero, J. and Melero, J. (eds.) (2003) *GSM, GPRS and EDGE Performance*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
[33] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010), *Radio Resource Control (RRC), Protocol Specifications*, 3GPP TS 25.331 Version 8.12.0, Release 8, 8 October 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.331/25331-8c0.zip (accessed 3 June 2011).
[34] Hiltunen, K., Binucci, N. and Bergstrom, J. (2000) Comparison between the periodic and event-triggered intra-frequency handover measurement reporting in WCDMA, *Wireless Communications and Networking Conference*, **2**, pp.471–475, September 2000.

[35] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2009) *Automatic Neighbour Relation (ANR) Management; Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.511 Version 9.0.0, Release 9, December 2009, www.3gpp.org (accessed 3 June 2011).
[36] Lee, W. (1995) *Mobile Cellular Telecommunications*, McGraw Hill.
[37] Hale, W. (1980) Frequency Assignment: Theory and Applications, *Proceedings of IEEE*, **68**(12), pp. 1497–1514.
[38] Box, F. (1978) A heuristic technique for assigning frequencies to mobile radio nets", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **27**(2), pp. 57–64.
[39] Giortzis, A.I. and Turner, L.F. (1996) A Mathematical Programming Approach to the Channel Assignment Problem in Radio Networks, *IEEE Vehicular Technology Conference*, **2**, pp. 736–740, April 1996.
[40] Funabiki, N. and Takefuji, Y. (1992) A Neural Network Parallel Algorithm for Channel Assignment Problems in Cellular Radio Networks, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **41**(4), pp. 430–437.
[41] Kunz, D. (1991) Channel Assignment for Cellular Radio Using Neural Networks, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, **40**(1), pp. 188–193.
[42] Kim, J., Park, S., Dowd, P. and Nasrabadi, N. (1997) Cellular radio channel assignment using a modified Hopfield network", *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **46**(4), pp. 957–967.
[43] Duque-Anton, M., Kunz, D. and Ruber, B. (1993) Channel Assignment for Cellular Radio Using Simulated Annealing, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, **42**(1), pp. 14–21.
[44] Mathar, R. and J. Mattfeldt, J. (1993) Channel assignment in cellular radio networks, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, **42**(4), pp. 647–656.
[45] Ngo, C. and Li, V. (1998) Fixed channel assignment in cellular radio networks using a modified genetic algorithm, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **47** (1), pp. 163–172.
[46] Lai, W. and Coghill, G. (1996) Channel assignment through evolutionary optimization, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, **45** (1), pp. 91–96.
[47] Leese, R. (1997) A unified approach to the assignment of radio channels on a regular hexagonal grid, *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, **46**(4), pp. 968-880.
[48] Wei, W. and Rushforth, C. (1996) An adaptive local-search algorithm for the channel-assignment problem (CAP), *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, **45** (3), pp. 459–466.
[49] Kourtis, S. (2000) Code planning strategy for UMTS-FDD networks, *IEEE Vehicular Technology Conference*, **2**, pp. 815–819, May 2000.
[50] 3GPP RAN WG1 Meeting #4, R1-99333 (1999) *Short scrambling codes for the UTRA/FDD uplink*, April 1999, www.3gpp.org (accessed 3 June 2011).
[51] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *E-UTRAN; Physical Channels and Modulation*, 3GPP TS 36.211 Version 9.1.0, Release 9, 30 March 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.211/36211-910.zip (accessed 3 June 2011).
[52] Bandh, T., Carle, G. and Sanneck, H. (2009) Graph Coloring Based Physical-Cell-ID Assignment for LTE Networks, *The 5th International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC 2009)*, June 2009.
[53] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *E-UTRAN; Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions*, 3GPP TS 36.902 Version 9.1.0, Release 9, 6 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.902/36902-910.zip (accessed 3 June 2011).
[54] 3GPP RAN WG3 Meeting #59, R3-080812 (2008) *Solution(s) to the 36.902s Automated Configuration of Physical Cell Identity Use Case*, April 2008, www.3gpp.org (accessed 3 June 2011).
[55] 3GPP RAN WG3 Meeting #59, R3-080376 (2008) *SON Use Case: Cell Phy_ID Automated Configuration*, February 2008, www.3gpp.org (accessed 3 June 2011).

第5章　多无线制式的网络自优化

Juan Ramiro、Rubén Cruz、Juan Carlos del Río、Miguel A. Regueira Caumel、Carlos Úbeda、Szymon Stefański、Andreas Lobinger、Juanjo Guerrero、Salvador Pedraza、José Outes、Josko Zec 和 Khalid Hamied

5.1　2G、3G 和 LTE 系统的自优化需求

自优化定义为通过用户设备（UE）和基站收集到的测量值和性能指标自动协调网络配置。网络自优化流程执行于网络运行过程中，运行状态定义的射频（RF）接口是处于商业活跃期（即小区既没有被阻塞也没有被保留）的情形。理想情况下，自优化解决方案应具有以下特征：

1）基于测量。为了把包括传播环境、室内穿透损耗以及用户的业务规格和空间分布的实际系统状态考虑在内，基于理论传播预测模型的网络调整应由基于网络统计的决策所决定。

2）基于扇区和邻区。以往经验表明，同构网络配置一般是次优的，因此需要进行更细致的解决方案以实现更好的优化，即需要考虑扇区甚至邻区网络信息。

3）多厂商。①可以获取并解释由每个厂商提供的性能统计；②根据厂商特定参数得到合格的调整策略；③提供自动或自主的机制将得出的变换付诸网络。第2章解释了自动和自主过程的差异。

4）多无线制式。①既能够分别还能够以一种联合的方式有效地处理所有相关自优化技术；②执行无线接入技术（iRAT）负载平衡以与运营商不同网络的业务管理策略保持一致；③将所有的不同无线制式的覆盖范围、容量和质量影响连同特定技术或共享参数设置所建议的调整都联合考虑。

5）多源。可以利用自主收集的所有信息，比如来自操作支持系统（OSS）的性能统计信息、计费数据记录（CDR）、呼叫追踪等。

6）可配置。能够根据高水平目标、开销和运营商关于容量、覆盖范围、质量或者它们的一个加权合并确定的策略进行配置。

5.2　自优化在不同无线制式下的限制

一个给定的无线接入制式的自优化算法调整设置能够确定这种变化对于其他无

线制式的影响。对这些机制的观测优先于不同无线制式中独立的特定技术功能的检测，需要联合考虑自动化操作中关于多无线制式的特定需求。在不同无线制式下进行自优化限制的一些例子如下：

1）不同无线接入制式之间共享天线。在这种情况下，不适合执行只考虑一种接入制式的自优化，因为一种接入制式性能的提升可能是以降低其他制式的性能为代价的。

2）容量/覆盖自优化机制——基于一种接入制式的影响范围，间接将还未得到服务的业务推给了其他异构系统层。如果这种自优化决策没有将所有受影响的异构系统层考虑在内，过量的业务可能被卸载到其他异构系统层，而这会降低它们的容量、覆盖范围和/或质量，超出可容忍水平。

3）基于调整 iRAT 切换（HO）偏置的 iRAT 负载均衡策略。这种算法需要考虑所有异构系统层性能，避免以牺牲其他层性能为代价来提高某一特定层的性能。

本章将进一步阐释这些机制，特别是在 5.11 节中将详细描述自主负载均衡机制。

5.3 最优化技术

5.3.1 最优化控制工程技术

在历史上，自动控制利用不同的方法使系统输出与期望的特性尽可能地接近，在高级工程和科学中扮演了至关重要的角色。电力分配系统、飞机、医疗器械、机器人等就是一些例子。现代控制工程依赖于电子技术和计算机，后者在近几年变得越来越便宜而且越来越强大。人们想了许多方法来解决线性和非线性控制问题，但是没有一个通用的方法来控制复杂系统，例如在本章中讨论的异构系统就是一种复杂系统。

移动蜂窝网络中的无线接入网络（RAN）性能可建模为以配置参数为输入，以性能统计信息、呼叫追踪和警报为输出。大体上，性能统计单元通常用来建立关键性能指示（KPI），尽管这些也能通过其他信息元素比如后处理呼叫追踪来建立。另外，也有其他不可控的输入变量，比如传播特性、系统用户属性等。

最优化系统的目标是提升 RAN 性能。一方面，最优化系统的输入是之前提到的性能统计信息、呼叫追踪和警报，此外还包括运营商的要求和 KPI 目标。另一方面，最优化系统的输出是新提出的无线配置参数。运营商的要求包括不同 KPI 之间的相对优先级、容许的 KPI 余量、容许的参数范围和步长值，以及接收数据作为统计相关的条件。

采用的解决方案必须降低所需的运营代价并提升网络性能。这个过程一般通过下面三步实现自动化：从网络收集信息，基于收集到的信息执行最优化算法，在网络中实现所需变化[1]。

大多数自动控制实例的普遍特征是使用反馈信息，其特征为所谓的闭环系统（相对于开环系统）。在闭环方案中，最优化系统采用自适应的迭代过程来修改网络参数，得出的性能指标继续反馈为这个最优化系统的输入以推导出下一组参数设置。这种闭环方案的优点是控制不稳定系统的能力以及对于干扰和建模错误的补偿。主要缺点是需要不断地监控系统输出，而这也是易于出错的。值得注意的是，反馈周期不必是固定的，也可以采用事件驱动或执行预先设定的次数进行自适应调整。

在开环控制系统中，输出对于控制活动没有作用，也就是说，开环系统不使用反馈信息。这意味着最优化参数设置需要一步到位，而不考虑将系统调整所产生的性能指标用于执行额外的迭代过程。这种开环控制系统不具有闭环系统的优点（不能控制不稳定系统，也不能补偿干扰和建模错误），所以如果最优化参数对于系统性能的影响已知并且主要干扰没有影响系统正常工作，开环控制系统会更合适。

大体上，闭环最优化是最优化软参数最合适的方式，例如那些控制无线资源管理（RRM）的算法。然而，其他参数的性质（例如一些像天线方位角或机械下倾角的 RF 设置，这需要代价很高的人工干预来实现调整）使得采用一步到位的开环最优化解决方案更加明智。

根据最优化系统的复杂度和信息的有效性，可以采用以下 3 个控制技术：

1）解析法。如果需要控制/优化的系统具有线性或简单非线性特征（或者至少易于建模），解决方案可被解析式推导出。遗憾的是，很少有实际系统会这么简单，而且移动网络不属于这种系统。这种类型的例子是烤炉温度控制或卫星轨道追踪。

2）搜索算法。如果系统包含高度非线性的变化，但是可被离线的（即不与实际系统相连）建模或模拟，可通过搜索算法来得到解决方案。解决方案通过使用模型然后将它用于实际系统而得出。实际系统和模型之间优良的匹配对于获得高效的解决方案至关重要。实际系统输出可用来调整模型。这种问题的例子包括自动频率设计（AFP）或物理层小区 ID（PCI）设计。

3）专家系统。当无法获得模型时，那就只可能有基于算法的专家知识。在这种情况下，专家知识被模型化，并包含于控制/最优化系统。大多数 RRM 最优化问题适合这种策略。

下面，我们将提出基于这些技术的不同选择以作为控制问题的候选解决方案的示范。

5.3.1.1　启发式搜索算法

启发式搜索算法组成一类属于搜索算法范畴的最优化方法，并且基于给定的成本/目标函数（或质量测量）通过迭代过程尝试搜寻更好的候选解决方案。成本/

目标函数通过这个问题的一个模型得到。这种算法对优化问题作了很少假设，或者没有假设，并且候选解决方案的搜索空间非常大。然而，启发式搜索算法不能保证能发现最优解。这种算法的一个应用实例是旅行商背包问题[2]，当问题的规模增加时，候选解决方案的搜索空间呈指数增长，这令寻求最优解决方案的穷举搜索变得不可行。相关的针对组合式问题的启发式算法的例子有贪婪搜索、模拟退火和遗传算法：

1）贪婪搜索[3]，这是最简单的搜索算法。从一个起始解决方案开始，在每一次迭代中，当前解决方案被最好的邻近解决方案替代。贪婪算法的主要缺点是一旦达到了一个局部最优解，就不可能继续改进。

2）模拟退火[4]。这个想法来自于冶金术中的退火，退火是包括对一种材料加热和受控冷却以增大它的晶体尺寸并减少瑕疵的技术。原子最初是静止的，但是温度的提升将它们从初始位置（内部能量的局部最小化）移动到更高能量的随机状态，然后缓慢降温使它们更有可能达到比初始状态具有更低内部能量的状态。类似地，模拟退火的每一步用一个随机扰乱的解决方案替换当前解决方案，解决方案以一定的几率选择，而选择某个解决方案的几率取决于相应成本函数值之间的不同以及全局参数模拟温度，这个全局参数在模拟退火的过程中逐渐减小。解决方案与模拟温度之间的相关性可以这样描述：当温度高时，当前解决方案几乎是随机改变的；但当温度接近零度时，相关性提高。容许解决方案恶化可以防止模拟退火算法困于一个局部最优解。

3）遗传算法。这种算法基于模仿自然进化的启发式搜索[5]。在遗传算法中，将候选解决方案编码为最优化问题（称为个体）的一系列字符串（称为染色体），向更好的解决方案进化。在每次迭代中，群体通过与先前已存在的优良个体相结合来创造新的个体，同时去除一些坏的个体，从而得以进化。群体也通过一些个体的突变来得到修整，突变主要是通过在解决方案中加入随机变化。

5.3.1.2 人工神经网络

人工神经网络是一种试图模拟生物神经网络[6]结构和/或功能的计算方法，它们被归类为专家系统。神经网络由相互联系的一组人工神经元组成，使用联合主义取向的计算方法来处理信息。多数情况下，神经网络是一个在学习阶段基于流通于网络的外部或内部信息来改变其结构的自适应系统。自适应控制包括调整控制器使用的应用控制规则以应对被控制的网络缓慢地随时间变化或网络的不确定性。人工神经网络中，在学习阶段应用了专家知识。

5.3.1.3 贝叶斯网络

贝叶斯网络是通过一个直接的非循环曲线图来表示一组随机变量和它们的条件独立性的一个概率图模型[7]。贝叶斯网络建模了起因和症状之间的概率关系。给定症状，网络可计算出各种起因存在的可能性。为了充分说明贝叶斯网络，从而充

分描述节点的概率分布，有必要为每个点列举以它所有父母为条件的概率分布。贝叶斯网络的一个明显缺点就是建立模型时需要所有条件概率的定义，这使得为无线网络这样的复杂系统建模非常具有挑战性。基于贝叶斯网络的自动控制系统也是专家系统。

5.3.1.4　模糊逻辑

这个专家系统是处理近似事实而不是精确事实的正式多值逻辑的一个演进和扩展[8]。与二进制集有二进制逻辑的纯粹条件逻辑相反，模糊逻辑变量会有一个 0～1 的真实值。当进程的复杂度高并且没有准确的数学模型时，通常采用模糊逻辑。模糊逻辑常用于高度非线性进程或对于影响变量有不精确定义的情况。专家规则以一种模糊的方式被评估以获得控制/最优化功能。几个规则可被同时触发，然后综合得到关于系统输出的一个联合决策。

5.3.2　最优化蜂窝通信系统的技术讨论

基于之前介绍的不同可选方案，下面讨论优化一个蜂窝通信系统的不同技术的适用性。

启发式搜索算法为 RF 参数最优化提供了一个颇具吸引力的选择。经验表明，对于某些 RF 参数，比如全球移动通信系统（GSM）的频率、物理/电气天线参数和传输功率　使用基于分解成本函数的搜索算法，不仅在理论设计工具中，在外场测试中也提供了显著的增益。由于 RF 矩阵的网络状态可通过简单的成本函数、简单并快速地评估来计算得到，因此启发式搜索解决方案很适合解决这种问题。

采用神经网络来优化无线网络参数会暗含着起始学习进程，它在专家信息的帮助下应该离线执行。这种专家系统在无线系统的一个例子是一组输入和输出对，神经网络可以基于内部插值由它们对任何新的输入构造输出。当有一个详尽的输入和输出对集合从而控制系统不需要进行演进时，这个技术对于最优化 RRM 参数很有用。然而，实际上，这种技术往往不可行。在贝叶斯网络中，可以发现类似的困难，因为需要不同环境下大量系统性能的离线观测，至少在开始是这样，并且得出的模型有可能高度依赖于每个特定的网络。

由于系统的高复杂度和描述网络模型特征的难度，模糊逻辑很难满足最优化无线网络 RRM 参数的需求。通过这个解决方案，有必要将人类专家知识嵌入定义的规则中。因此，在设计最优化算法时，知道待优化系统中所有的隐式权衡至关重要。另一方面，补偿不可预知的行为不能舍弃小段内存和/或学习过程，这些不可预知行为在最优化系统的定义阶段是不可能被考虑到的（例如通过基于之前输入和输出的算法调整）。然而，这需要被仔细地考虑进来以合适地滤除噪声信息元素。

5.4 蜂窝网络自优化的起源

想要优化自优化性能需要通过实际测量，然而不是所有传统自优化方案都能满足这条要求。这些测量输入的性质遵循基于理论模型从简单传播预测开始的演进过程。本节主要针对该过程的不同阶段作简要说明。

5.4.1 传播预测

自优化最开始需要确定使用哪种理论传播模型（例如，Hata [9]，COST231 [10]，Lee [11] 等）对传播方式进行预测。各模型的参数会影响网络性能，为了准确获得各类环境（市区、郊区、农村等）的传播预测模型需要进行大量的研究实验。然而，在实际系统中，准确选择与实际情况匹配的传播预测模型并不简单，需要通过测量对所选数学模型进行校准。这个过程相当繁琐而且开销大，并且总存在标准偏差为6~10dB的误差。此外，无线网络的大多数问题都是针对室内用户的，要想准确得到室内用户的预测模型也需要通过大量的室内测量实验，这将又是一大挑战。

5.4.2 路测

路测的目的有两个：①为开阔地理位置上的无线系统性能定一个基准；②收集输入信息以校准传播模型。为了实现自优化过程，相比使用纯粹的理论模型，路测则更为重要，路测与传播模型预测的结合能显著地提高优化模型的准确度。这两者的结合一般可以通过两种方式：

1）传播模型的调整。这种方式下，需要使用优化算法找到传播模型参数的最优配置，从而使实际测量与预测模型的差别最小[12]。

2）路测智能插值。该方法需要优先测量出分布在坐标轴上的位置，其他位置的信息则根据传播模型相应的空间趋势和一些其他的测量量（例如相对距离）使用插值算法计算得出。

在正常工作环境中，路测有3个主要缺陷：

1）花费昂贵，操作复杂。

2）对于室内的用户体验没有足够的测量。

3）只能表征测量时间内的系统性能，在需要考虑与负载相关的参数时就不充分了。

5.4.3 OSS的测量工具——性能统计信息

性能统计信息包括极其可观的以细小粒度表示的网络性能，具有以下主要优势：

1）由于信息已经在 OSS（运营支撑系统）中收集，因此运用最优化的性价比非常高。

2）数据可以持续收集。不同于路测，性能统计信息没有局限于只能获得测量活动进行的时间段中的性能数据，可以全天 24h 收集测量数据。

3）OSS 统计信息从无线环境、室内损耗、话务分布等方面考虑了所有用户。

4）OSS 统计信息不仅给出了协议中提到的标准无线测量数据，还从其他很多方面（例如资源利用率、系统内部事件、RRM 数据等）描述系统性能。

尽管 OSS 统计信息不能提供用户的位置信息，但可以通过对输入数据进行数据校准来进行 RF 优化，从而使网络性能得到显著地提高。相关的介绍在 5.7 节，其中给出了通过微调 RRM 软参数并使用基于 OSS 性能统计信息的优化算法时的测试结果。

5.4.4 呼叫追踪

呼叫追踪是指在选定的不同接口协议（例如 Iub、Iu 等）中针对某一组呼叫的信息流进行详细记录。传统的呼叫追踪是通过硬件（HW）探测来收集信息流的，近年来则更多地通过嵌入式软件（SW）在各个网络节点收集信息流。

为了完成相关任务，需要对呼叫追踪得到的大量详细信息进行有效地处理，这些信息包括：

1）OSS 未统计的来自其他专门统计信息的数据。

2）只计算可配置模式下呼叫的统计信息数据。

3）检测到明显的 RF 问题，例如邻区缺失。

4）基于地理位置的呼叫及其相关的性能报告，这些信息根据多种属性（例如用户类别/组、终端类别/组、业务等级等）进行分类。地理信息映射可以用于性能监督（例如虚拟路测）和最优化支持，这些信息有通信量映射、覆盖和信号质量映射、吞吐量映射、针对不同掉话原因的掉话映射、系统间切换映射等。

总之，对呼叫追踪的后置处理可以得到大量用于软物理参数自优化的测量数据。附录 A 中给出了通用移动通信系统（UMTS）下基于呼叫追踪的地理位置技术的详细数据，附录 B 给出针对 LTE 系统下的 X-map 的性能估计数据。

5.5 自规划与开环自优化

自规划方案一般是开环的，这是由于在网络单元商业化投放之前，对网络的计算过程都是离线进行的。因此取出任一性能指标将其放入反馈环中都是不可取的。

另一方面，实际的自优化方案采用开环还是闭环取决于待解决问题的特点。如何选择自优化方案需要从以下方面考虑：

1）使用开环自优化方案的前提是必须能够对优化参数所影响的系统性通过较为简单的成本函数模型建模后进行优化，例如采用准启发式搜索算法。运用开环自优化方案的例子有导频功率优化、远程电子下倾角（RET）优化和频率规划与分配。

2）如果前面提到的成本函数是优化变量的连续函数，那么原则上该问题既可以使用开环方案也可以使用闭环迭代方案。但如果闭环迭代方案存在问题或是难以实施，开环方案便成为惟一的解决方案。就这点来说，导频功率优化可以使用这两种方案，而频率规划和分配只能通过开环自优化方案来解决，因为其成本函数并不是优化变量的连续函数。

3）使用闭环迭代方案的前提是对优化参数的修改并不需要实际的开销，例如通过软件指令的方法。否则，如果调整参数需要人工的介入，迭代方案从经济上看是不可取的。比如天线方位角的调整一般使用开环方案进行优化，每一步需要给出参数的最终值。而RET参数的调整涉及边界增量成本，它既可以使用开环方案也可以使用闭环迭代方案。

从深层概念上来说，某些自优化用例也可以算是自规划的范畴，因为它们的优化参数值可以在规划和/或优化阶段计算得到。另外，开环自优化方案都会用到一些自规划方案使用的基本优化方法（例如费用函数与准启发式搜索算法相结合在自规划和自优化方案中都很常用）。需要注意，自规划的本质就是一个最优化问题，即在满足一系列限定条件的前提下从可选值中选择最佳的参数值。然而，自规划与自优化有两个关键实现差异：

1）自规划阶段的主要目的是为那些未激活的网元进行参数配置，而自优化则用于正在运行的网络单元。

2）两者的有效输入信息完全不同（参考5.4节）。例如，自规划过程涉及基于传播预测模型的新站点RF设计，可以通过一般的方法进行微调以匹配环境特征。但如果采用自优化的观点来解决此问题，OSS给出的动态数据和/或呼叫追踪可以一起作为自优化过程的输入数据。在这种情况下，为了使每个扇区的数据与使用的传播模型相匹配，需要做大量的微调，甚至需要用呼叫追踪得到的地理位置信息进行（全部或部分）替换。不管怎样，最后都会用到相同的最优化技术（成本函数与准启发式搜索算法相结合）。惟一的不同在于测量的有效性是否允许对数学优化进程的输入进行智能修改。

5.5.1 在开环自优化系统中使人为干预最小

自规划一般是自动而非自主的，即如何去规划、配置新的网络单元需要人工的介入，尽管大量的计算过程很大部分上是在计算机上自动运行的。

当使用与开环优化相同类型的技术（例如频率规划）时，让优化过程仍旧自

动化还是让其完全自主还值得商榷。以频率规划为例，就可以将其转换为完全自主的过程。然而实际上，很多运营商仍希望反复考虑各种不同的高级策略以及不同策略的权衡。因此，人工介入在很多情况下仍有必要，除非优化问题存在既定的且无需定期回访的自主方案。

尽管开环自优化过程是自动而非自主的，但网络自组织（SON）方案的供应商可以分段地使过程自主化。所有开环自动优化过程中最单调、最耗时的部分（例如数据收集、验证和预处理）可以变得完全自主，这些过程通常可以后台运行而且在任一时刻工程人员都可以获取最新的输入信息，并可以将其平滑地用于自优化工程的增值部分的初始化（例如对不同高级策略的评价）。

5.6 自动自主优化架构

该部分主要关于自优化系统的三种不同架构。5.6.1节将介绍集中式开环自优化系统，如5.5.1节所述，尽管该过程的一些阶段（例如数据收集、数据预处理及数据验证）是完全自发的，但它是自动式而非自主式。5.6.2节将介绍集中式闭环自优化方案，5.6.3节将介绍分布式自优化系统，这两种系统均要求具有自主性。

5.6.1 集中式开环自动自优化

如前所述，开环自优化方案不涉及迭代、自适应过程，自适应过程是在网络每变化一次，即将系统性能反馈作为输入来推导之后配置的变化。然而，如图5.1所示，尽管开环自优化过程的输出由一步得出，但是它将优化前的网络性能作为有意义的输入，以使其在抵抗理论模型（例如传播预测模型）通常所固有的模型误差方面具有了鲁棒性。

5.6.2 集中式闭环自主自优化

当在后面章节中提到集中式闭环自主自优化方案时，将假定如图5.2所示的高层次架构和过程[⊖]。由于在下一代移动网络联盟（NGMN）正式形成SON用例之前，第二代（2G）和第三代（3G）网络已由设备商具体指定并广泛建立，故有关

⊖ 在这种情况下，没有特殊考虑在2G和3G网络的BSC和RNC中运行集中的自优化算法的可能性。然而实践中，经分析这些情况类似集中部署，有3个主要区别：①运行时接近基站，算法可以对更快的网络变化做出反应，虽然快速反应并非总是建议的，并且必须保证在任何情况下，输入信息在统计上的可靠性；②在网络架构的较低层运行时，能见度受限的网络节点数量较少，这可能导致相邻的BSC/RNC之间的边界对齐问题；③SON算法在BSC/RNC的实施使得它更难部署第三方的SON解决方案。

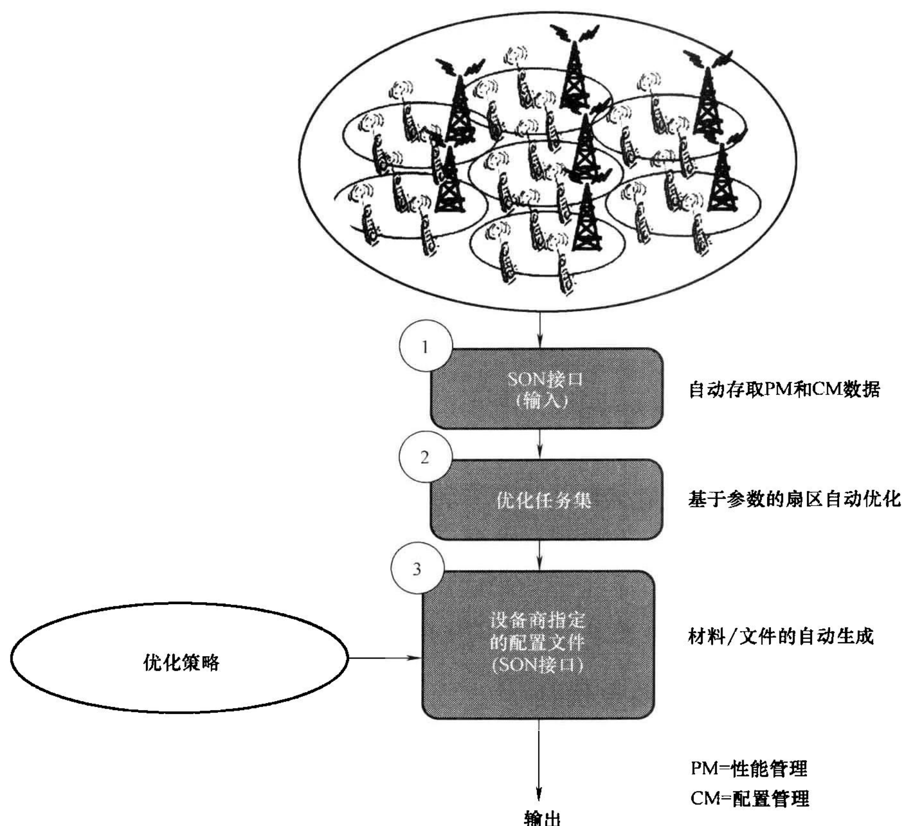


图 5.1 集中式开环自优化方案

SON 用例可行的解决方法还需要他们的支持。在这里，所讨论的关于 2G 和 3G 中 RRM 参数的自主自优化技术是基于集中式闭环架构的（见 5.8 节、5.9 节和 5.11 节）。对于 LTE 网络，一些 SON 特点［例如自动邻区关系（ANR）］很适合分布式方法，而另一些则适合在集中式架构中实施。有关 SON 集中式和分布式的区别在第 3 章中已详述。此外，这两种架构可联合形成一种混合式的方法，具有两者所具有的优势。

如图 5.2 所示，自优化过程中确定了 3 种不同的关键步骤：

1）收集待优化网络区域的详细信息，以扇区或者邻区为单位。如图 5.2 所示，SON 接口集中管理对基础设施供应商和无线接入技术所用的不同数据源的访问。

2）执行优化算法。在这个阶段，利用算法中嵌入的智能单元来更新各扇区配置，从而模拟人类专家在没有时间和精力限制的条件下所作的推理。

3）关闭循环，例如自主执行由优化算法提出的建议（参数改变）。这是自主

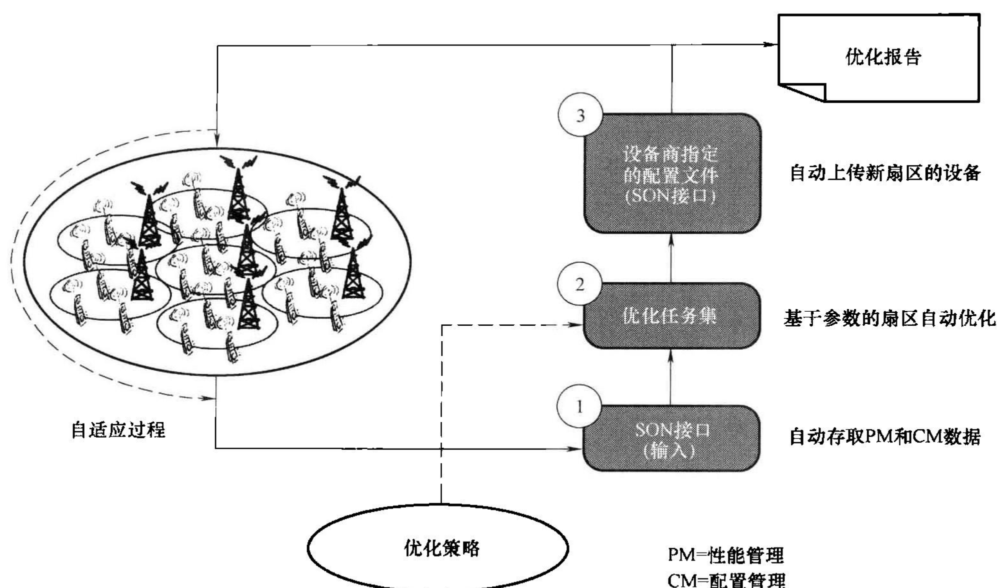


图 5.2　集中式开环自优化方案

执行的，即没有人为干预。注意，只有这样才可能符合 NGMN 联盟所制定的 SON 要求。

假定该过程是通过不断迭代来进行的，以使闭环自适应自优化方案确保包括扇区和邻区粒度的系统最优配置。注意，频繁执行自适应调整的机制可以是事件驱动的，也可以预先设定执行的次数。

5.6.3　分布式自主自优化

分布式架构中，自优化算法在位于架构底层的网元（NE）内执行。在 LTE 网络中，为支持分布式 SON 结构中所选择的一些用例，已将相关的多种机制标准化。为避免单纯的本地判决，信息交互及信息协商过程已被详细规定（主要经由 X2 接口[13]），这样自优化判决即可通过基站利用邻区的信息作出，并且在各邻区的基站间得到协调。若在分布式架构中涵盖标准化中未特别指定用例，则需要架构中可能没有却很必要的标准协调机制。这意味着，在这些必需的功能实体标准化之前，该用例只能利用设备商指定的解决方案或分布式 SON 结构来实现。图 5.3 表示在架构高层实现的分布式优化范例。

由于在 SON 概念形成之前，2G 和 3G 系统已标准化，但是目前 2G 和 3G 系统的标准化还不支持分布式 SON，因此必要的功能实体需要嵌入到基站中。在没有设备商支持的条件下，惟一的办法是利用集中式架构。

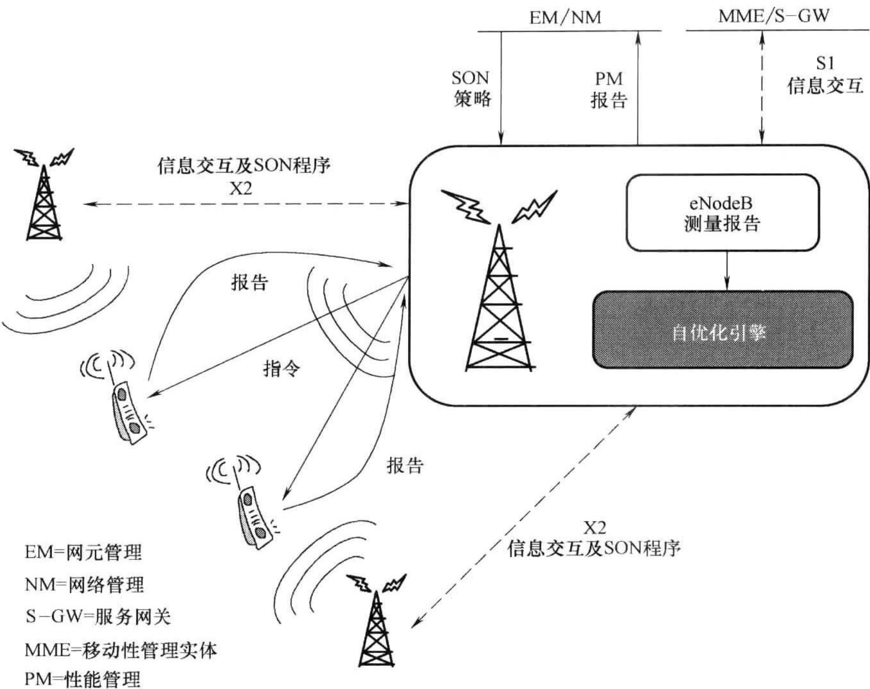


图5.3 通用分布式自优化方案架构

5.7 蜂窝网络的开环自动自优化

5.7.1 天线配置

RF配置的开环自优化技术与第4章中的自规划技术相同。然而，当在实时网络中应用时，需要：①直接从OSS中提取配置信息，以较精确的方式来反映实际情况，而不像在其他数据库中，某些关键参数值、激活状态扇区的设置及当前邻区关系会出现不一致；②包含OSS性能的统计数据，允许利用校准基本传播预测模型的智能技术，以使其与根据OSS统计数据分析（详见5.4.3节）及呼叫跟踪做出的网络评估一致。即使在不同的方面也应保持一致。其中，最重要的有以下6种：

1）每扇区接收信号电平分布，例如公用导频信道（CPICH）上接收信号码功率（RSCP）的分布及UMTS网络中RSCP驱动的iRAT切换（HO）的统计数据。

2）每扇区接收信号质量分布，例如CPICH上Ec/Io分布及UMTS网络中Ec/Io驱动的iRAT切换（HO）的统计数据。

3）每两个扇区间的相对无线信号耦合（相互干扰），例如 UMTS 网络中的软切换（SHO）统计数据及 GSM 中的干扰矩阵。

4）每扇区的传播时延，由与无线制式相关的时间提前量或随机接入数据统计技术来测得。这对于确定实际的小区覆盖范围及潜在的过载小区是很有意义的。

5）每扇区特定无线制式的负载指示，例如 UMTS 网络中下行发送功率或上行噪声增量。

6）每扇区的绝对业务量与相对业务量。

注意，通过该方式使用网络统计数据产生的 RF 设计真正考虑到了终端用户在无线条件、室内损耗及业务分布下的体验。另外，在该过程中可以考虑传输域中与相对负载相关的统计单元，以避免 RF 配置（从单纯的无线网络角度考虑，RF 配置属于技术性工作）在某些基站中引起传输阻塞。

再者，正如 5.4.4 节所述，为通过业务的地理定位、信号电平或干扰地图等方式进一步丰富网络视图，可引入呼叫追踪（从投资角度和运营复杂度方面看，若开销合理，则可行）。另外，呼叫追踪还可用于重建网络 KPI，这可依据不同准则（例如用户组或终端类型）进行分段，使得 RF 优化过程可按它们的优先级来优化。

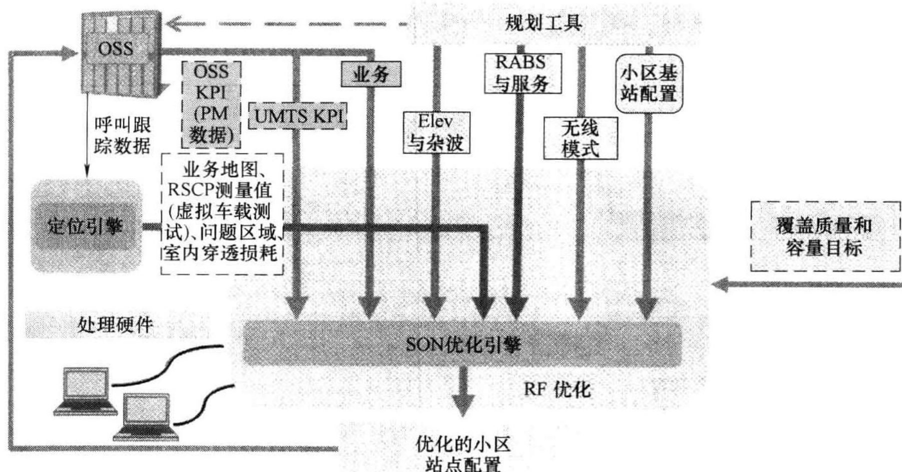


图 5.4　RF 配置的开环自动自优化过程（以 UMTS 网络为例）

为生成详细的自优化计划，应使所需输入信息的收集、验证及预处理过程自主执行，这样优化过程的初始化可在任何时间进行，且总是利用最新的可用信息（详见 5.5.1 节）。以自动方式执行的开环自优化系统的功能布局如图 5.4 所示。

这种方法在很多商业网络中已有使用。下面的用例介绍了一种双接入制式的实例，描述了在欧洲某城市实现 2G 和 3G 物理层共享天线的方法应用（见表 5.1 和表 5.2）。该方法利用 OSS 统计单元测量，结果显示，在对天线方位角、两者的机

械下倾角（天线共享所致）及 3G 电子下倾角联合优化后，2G 和 3G 网络有着显著的改善。

基于测量结果进行优化的方法另一个优势是，这种方法使得运营商可以检测输入信息中的不一致性。比如观察所得的传播时延与运营商数据库中有关正常的小区半径数据完全不一致。注意，除远程电调天线（RET）和远程方位转向参数，其他 RF 配置（如传统天线方位角）在数据库中可能会存储有误，而这也不包含如 RRM 配置这样的软参数。另一个例子是交叉反馈问题，由于两个扇区的数据在数据库中进行了交换，使得天线辐射朝向与预期的指向完全不同，这可根据简单的几何角度通过对比 OSS 中小区耦合的指标值来检测得到。一般，当检测出明显的错误时，应先设置标志并经过手动验证后才能继续优化。

表 5.1　3G 网络自优化 KPI 改善

KPI	改善
电路交换(CS)业务	5%
信道带宽	8%
分组交换(PS)掉话率	40%
呼叫建立失败率(CSFR)	20%
软切换(SHO)开销	10%

表 5.2　2G 网络自优化 KPI 改善

KPI	改善
CS 业务	9%
CS 域的掉话率	16%
下行质量好	14%
上行质量好	20%
下行质量差	14%
上行质量差	23%
下行切换质量	22%
上行切换质量	15%

5.7.2　邻区列表

4.9 节已讲述了关于自动邻区列表配置的原则。对于新基站，使用了传统的基于预测的邻区列表产生方法，即通过预测重叠覆盖区域的方式。然而，实际网络可以利用测量结果来核对并自动调整初始的邻区列表，无需调整预测模型。在所有的蜂窝技术中，第一步首先要统计出一段时间内记录每个小区在其邻区发生尝试切换

的切换（HO）统计数据。对于不上报任何一种切换统计数据或只上报低于门限的切换尝试的数量/百分比的邻区，可从邻区列表中移除。另外，要保证有充足的时间切换统计信息，因为某些与特殊事件相关的邻区关系可能不包含在累计的统计数据中，而该邻区关系应确保不被移除。例如，在工作日收集的切换统计信息，而对于受周末运动会或贸易事件影响的某一区域，其切换统计信息会误以为移动性模式改变，且在这些特殊事件发生期间切换统计信息可能会显著增加。故在任何时候收集邻区数据时，这种情况必须考虑在内。

缺少切换尝试是用于删除邻区的准则，它可通过在 GSM 网络中处理移动测量报告或在 UMTS 网络中激活周期性的测量报告（或导频扫描纪录）来增强。这些测量报告常用于评估小区间干扰概率，典型的干扰概率表达式为 C/I，其中，C 表示从观测的服务小区得到的接收信号值，I 表示从候选邻区得到的接收信号值。候选邻区 C/I 的典型比值为 50%、10% 或 5%。当该比值低于所选门限时，表示这些候选邻区是相互重叠的，应自动将其添加在邻区列表中。并且 C/I 可与切换统计信息共同作为邻区删除的准则，这样不仅缺少切换尝试，而且高的 C/I 值也可触发邻区关系的安全删除。添加/删除邻区关系的准则如下所述，每一对（服务小区 s，干扰小区 v）均有一个 C/I，记为 CIR：

1）如果 v 已存在于邻区列表中：当 $\text{HOattempts} < Th_{HO}$ 且 $\text{CIR} > Th_{dB1}$ 时，删除该邻区。

2）否则（v 不存在于邻区列表中）：当 $\text{CIR} \leqslant Th_{dB2}$ 时，添加该邻区。

对于这种简单的算法，基于经验进行合理选择参数的方法如下：

1）CIR：观测小区的 C/I 低于某个值的比例。若选用 5%，则指观察小区或样本小区的 C/I（单位为 dB）出现低于该比值的概率为 5%。

2）Th_{HO}：切换尝试门限，如由指定服务器上报的所有切换尝试的 1%。

3）Th_{dB1}：确定弱候选邻区的 C/I 下限，如 15dB。

4）Th_{dB2}：确定强候选邻区的 C/I 门限，如 12dB。

除以上算法外，邻区列表还可通过其他各种约束条件来调整，包括：

1）考虑删除超过某个距离的邻区或添加在该距离范围内的邻区，该距离可以是平均邻区距离的绝对值或相对值。

2）考虑在添加/删除邻区时保持对称性，这样只有在两个方向上都满足该准则时，才可改变邻区列表。

图 5.5 给出了自动邻区列表优化实例，该图区分了 3 类小区，地图中圈起来的部分为服务小区。

1）保持：对于已在邻区列表中，并且在执行完基于测量结果的自动邻区优化功能后，被证实为合适邻区的小区，在图中填充为灰色的部分为该类小区。

2）移除：对于已在邻区列表中，但在执行完基于测量结果的自动邻区优化功能后，被标记为不需要或不正确的小区。在图中填充为浅灰色的部分为该类小区。

3）添加：对于不在邻区列表中，但在执行完基于所测得的重叠区域的自动邻区优化功能后，被认为是合适邻区的小区。在图中填充为黑色的部分为该类小区。

如 4.9 节所述，为执行基于测量结果的自动邻区优化功能，GSM 邻区列表需暂时扩展为不仅仅包含当前邻区的 BCCH 频率，UMTS 网络需要激活周期性的上报功能。

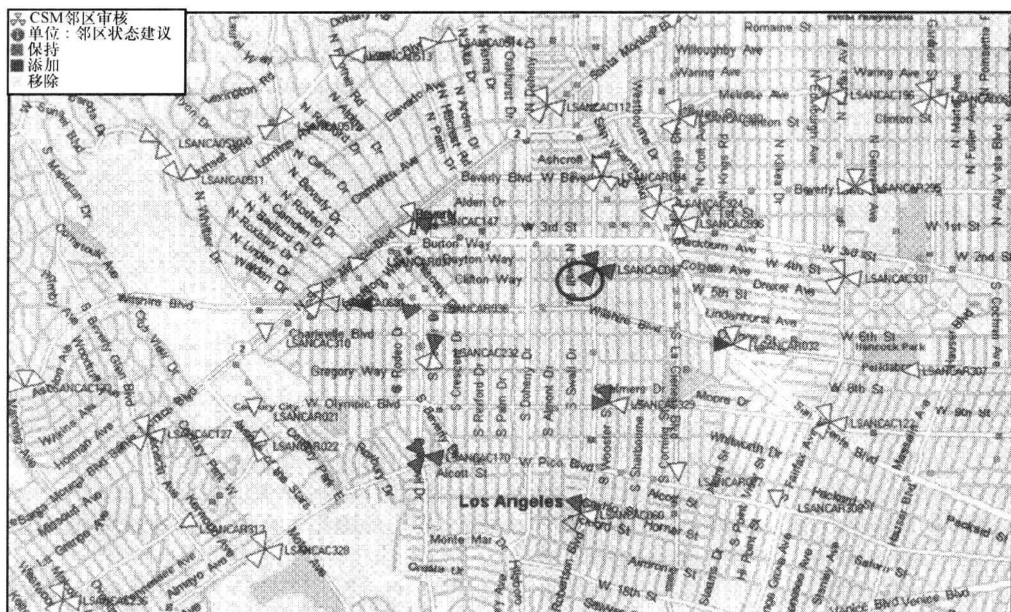


图 5.5　自动邻区列表优化

5.7.3　频率规划

通常，为获得网元的最优频谱分配，最精确的方式是应用开环自优化系统，并将由 OSS 统计数据得出的干扰矩阵加入该优化算法中。然而，在网元还未建立时，惟一的方法是利用干扰矩阵执行自配置功能，且该干扰矩阵由传播预测模型产生。再者，新邻基站的引入有可能会对已分配的网元频谱进行重配置。对于已启用的网元，自规划函数可利用已有的 OSS 统计数据来得出干扰矩阵中相应干扰者与被干扰者的关系特征。也就是说，用于得出新网元以及已存在的邻区最优频谱分配的干扰矩阵和联合基于邻区关系的预测及 OSS 测量结果。为清晰起见，上述关于频谱规划优化的知识点可参考 4.10 节的综合阐述。

5.8　2G 网络闭环式自主自优化

大量的场外测试经验表明，在实际 2G 网络运营时，有两种自优化用例可使网络性能得到显著改善，即移动负载均衡（MLB）和移动鲁棒性优化（MRO）。在 RRM 参数自优化方案方面，尽管有不少厂商率先提出分布式解决方案，但由于 2G 网络在 SON 用例定义之前已被规范化并广泛建设运营，故自然而然地决定了 2G 网络自优化方案应采取集中式结构（参考的闭环式自动自优化架构详见 5.6.2 节）。

5.8.1　多层 2G 网络的移动负载均衡

5.8.1.1　概述

在实际网络中，各扇区之间业务量分布往往不均匀，这使得对可用资源的利用率没有达到最优。然而，在某些扇区中，业务量过多，产生拥堵并需要容量扩充，与此同时其他扇区可能有多余的容量可用。通过使用 MLB 方法，将一些业务由高负载扇区转移到较低资源利用率的扇区，同时将每扇区已分配的容量考虑在内（见图 5.6）。这样，整个网络中的资源利用率变得更加均衡，从而提高集群效率并降低资本支出（CAPEX）。

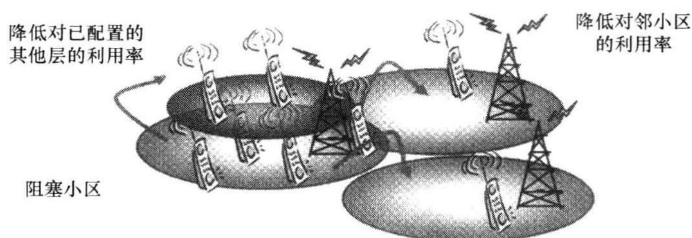


图 5.6　缓解阻塞和 CAPEX 合理化的业务均衡

这种容量增强策略成功应用的关键是要密切监控并考虑覆盖和质量指标，这些指标对业务在邻区之间的转移具有一定的限制，因为大量业务负载向新服务小区均衡可能会危及某些原本在新小区的用户的无线链路的质量。正如所预见的，在获得容量显著改善的同时，是可能同时保持或改善服务质量的。仍需注意的是，该领域的研究结果一致表明，在有业务量显著增长的网络中，该技术的使用可以使每扇区节省多达 15% 的无线资源。

MLB 策略涵盖了电路交换业务和分组交换业务，业务可在具有相同频带的扇区间转移，也可在具有不同频带的扇区间（典型分配）转移。在业务转移过程中，应不断监控质量指标并且在决策过程中权衡各指标以保持 QoS。由于决定此过程的大部分参数是邻接的，因此调整不同扇区的形状和大小有很大的自由度，以使不同

扇区适应实际的业务分布及当前运行设备的能力。

1. 输入

决策过程由阻塞情况和关键性能指标来驱动，例如业务信道（TCH）阻塞率、切换发生和失败率、原因可知的掉话率、增强型通用分组无线服务（E-GPRS）的关键性能指标（复用度、利用率等）、接收信号质量（RxQual）和接收信号电平（RxLev）的分布、干扰矩阵等。

2. 输出

基于以上输入信息，可以用最优的粒度优化与切换相关的参数。主要着重修改以下参数：①最佳小区切换门限和迟滞量；②频带间切换门限；③信号质量和电平驱动的切换门限。同时，并行调整小区重选偏移量，以确保小区边界的一致性。

5.8.1.2　移动负载均衡的外场测试结果

在外场测试中，将 MLB 应用在一个拥有 500 个扇区的双频 GSM 簇中，该网络覆盖了一个拥有 10000～15000Erlangs 业务量的密集市区。由于业务量的显著增长，该网络簇中业务信道的阻塞率高达 15%，测量结果如图 5.7 所示。

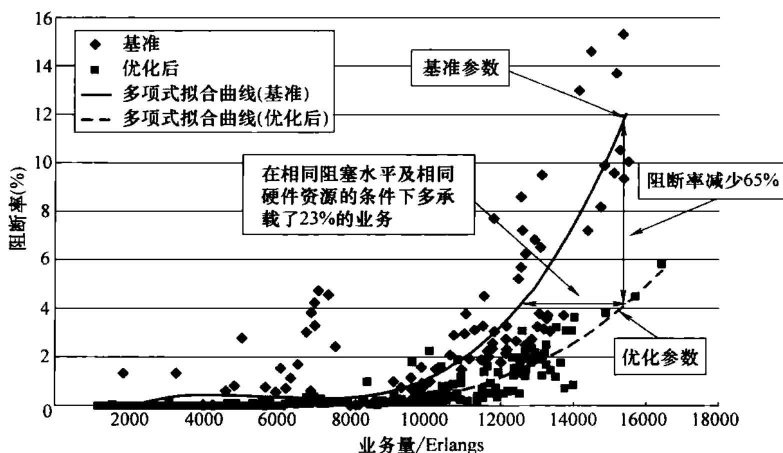


图 5.7　在实场中的 MLB 结果

图 5.7 中每个点的横、纵坐标分表代表了在基准期的某个时段内，整个网络簇内的整体业务量和阻断率。其中一组点对应初始配置，另一组点对应参数优化配置后。由图可见，网络承载的业务量越高，网络的阻断率越高。

此外，可以清楚地看到，在初始配置参数下的阻断率比在优化参数配置后的阻断率要高很多。在具有相同业务量（比如在该网络簇内有接近 15400Erlangs 的业务量）的情况下，优化后的配置使得阻塞率（从 12% 降到 4%）降低了 65%。此外，在具有相同阻塞率（比如约 4%）的情况下，优化后的配置能够承载多达 23% 的

业务（业务量由 12500Erlangs 增加到 15400Erlangs），即在相同阻塞率及相同硬件资源下，优化后的参数配置可以使网络承载更多业务量，网络整体容量明显增长。同时，优化也略微改善了质量指标，因为质量指标主要受切换失败影响，而大部分切换失败往往是由向阻塞小区切换时受阻引起的。

5.8.2　多层 2G 网络中的移动鲁棒性优化

5.8.2.1　概述

在 2G 网络中，该用例主要关注的是切换相关参数的连续自主自优化，以改善切换性能并控制网络干扰。该过程的主要目标是提高服务质量、量化切换性能增益和减少掉话率。

优化算法首先识别出具有高切换失败率的邻小区关系（见图 5.8），并分析该高切换失败率的原因。基于问题的诊断，优化算法调整切换设置以减少切换失败率。其中，优化算法还需要精细调整的参数有：切换偏置门限、切换触发间隔、切换正常进行的最小接收信号强度（RSSI）等。优化后以下关键性能指标明显下降：不必要切换次数、切换失败率、切换掉话率，最终直接影响了整体网络的掉话率，及时的切换保证了呼叫质量的提高。

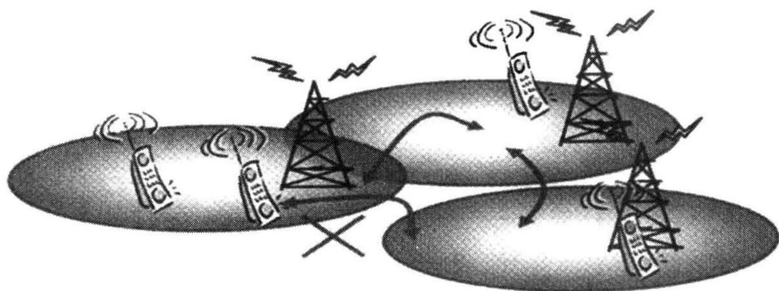


图 5.8　2G 中的 MRO：与性能较差的 HO 功能相关的实例

5.8.2.2　移动鲁棒性优化的外场测试结果

在该用例研究中，MRO 被应用于一个有接近 1000 个扇区的 GSM 网络簇中，该网络覆盖了一个拥有约 10000Erlangs 业务量的密集城区，该覆盖区域已被证实有着较差的切换性能（高切换失败率和高切换掉话率）与干扰问题（高接收信号质量和高接收信号电平）。测量结果如图 5.9 及图 5.10 所示，图中显示了平均每 Erlangs 业务量切换发起次数、切换失败率及切换掉话率的日常变化。其中，图中的垂直线表示 MRO 算法开始应用的日期。可看到 3 个切换性能指标自 MRO 算法应用后有着明显降低的趋势，这表明了网络的切换性能得到了改善。另外，由于切换性能的改善，整体网络掉话率的降低超过了 10% 。

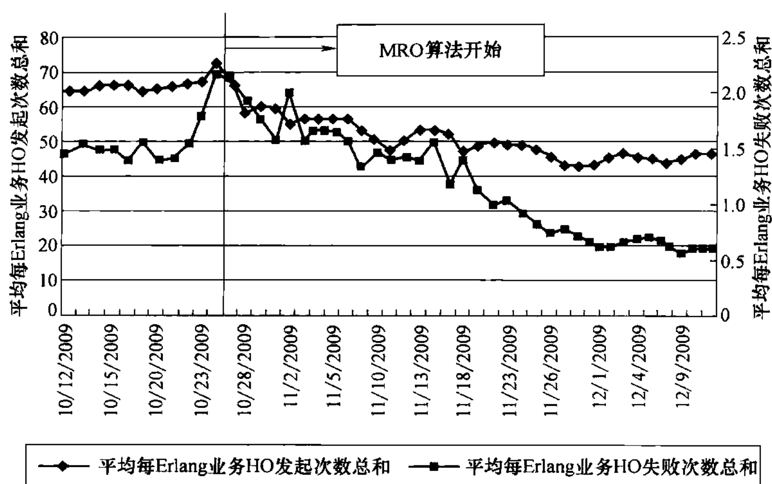


图 5.9　2G 网络中应用 MRO 算法的研究结果

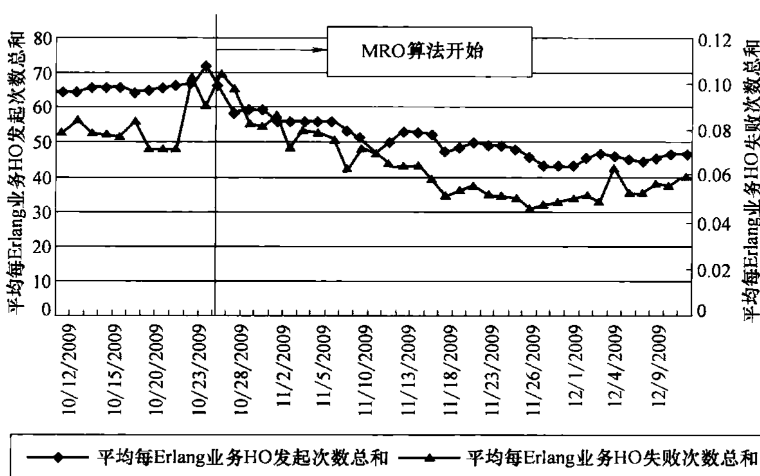


图 5.10　2G 网络中 MRO 算法外场测试结果

5.9　3G 网络闭环式自主自优化

在基于码分多址接入（CDMA）的系统中，UMTS 的覆盖、质量及容量之间紧密相关。至少在无线接入方面，对不同的无线资源管理（RRM）功能实体中的参数分别进行单独优化是不可取的，这样会导致整体不是最优的，甚至会相互抵消彼此优化后的效果，并降低网络性能。相反地，应该从整体上考虑需要调整的参数

集、隐含的参数调整机制及它们之间的折中，从而使得参数的统一调整是通过一种单独的算法实现的，该算法为实现理想目标从各个方面分析影响网络性能的因素，并使用了所有可用的方法（如所有关键参数集，其中每个参数集控制着特定的 RRM 功能）。这种整体协调会包含对可用方法优先级的确定。

目前，许多提出的优化手段仍未在实际网络中应用，这些优化手段在理想情况下从网络层面进行微调（如对所有不同小区采取相同设置）。因此，即使一个 UMTS 网络能够提供可接受的性能指标，仍可通过微调扇区之间不同的设置，在容量、覆盖、质量或它们的加权组合上拥有提升网络性能的空间。

UMTS 网络在 SON 用例定义之前已被规范化并广泛建立，虽然各厂商不断提出了分布式解决方案，但自优化方案从其本质决定了应是集中式结构（详见 5.6.2 节有关闭环式自主自优化参考架构的描述）。

5.9.1　UMTS 优化因素

如前所述，UMTS 性能可以从覆盖、容量及质量这三个方面来做系统地分析。每个方面均可用一系列关键性能指标来表征，这些反映系统在各个方面性能的信息将会被提供给网络优化人员或者智能软件模块。下面仅从技术原理层面上讨论，因为具体的实施细节需要依赖于每个特定厂商所采用的性能量化方法。

5.9.1.1　导频覆盖

在网络中，某特定的位置需要有足够的导频覆盖，这样才能提供给导频信号和服务扇区相关公共信令传输信道足够的接收信号强度和质量，以保证正确的解码（基于 3GPP 规范）。实际上，一个扇区的覆盖范围是由位置集来定义的，即服务质量最好的扇区有最强的导频信号。关于导频覆盖范围的常见问题如下：

1）公共导频信道质量较差时的 KPI：出现了最佳服务小区导频接收信号功率（RSCP）或导频信号干扰噪声比（Ec/Io）过低的区域。

2）小区过覆盖：存在离最佳服务小区距离过远的点。

3）导频污染：出现了来自过量小区的显著导频接收信号功率。

4）伞状小区：小区有着很大的覆盖范围，以至与周围小区的覆盖重叠，且产生了干扰问题。

可能表征覆盖问题的主要小区特定 KPI 指标如下：

1）由较差导频 RSCP 与/或较差导频 Ec/Io 产生不同无线接入技术间（iRAT）切换的比例。

2）接入性能指标，如无线资源管理（RRC）连接建立失败率。

3）传播时延，通过基于随机接入信道（RACH）接入小区时的统计数据而测得。

4）软切换（SHO）统计数据，表明扇区间重叠覆盖的程度及导频污染的严重

程度。

当然，较差的覆盖也会同时影响其他KPI指标。正如前面所提，UMTS网络中，各方面相互紧密联系。

5.9.1.2 业务质量

定义质量的一种方式是衡量承载来自UE或到达UE的用户平面信息的能力，该信息含有数据完整性、吞吐量、时延等所需属性。较差的业务质量通常会导致掉话率（主要针对语音服务）或数据传送时的低吞吐量。

不好的质量与不好的覆盖紧密相关，也就是说，在覆盖不好的区域有可能会同时遭遇不好的服务质量。在这些情况下，建议首先解决覆盖问题。当然，也会出现与RRM的配置过程相关的业务质量问题，这种情况仅会影响用户数据传送，而不影响公共信令。

表征质量问题的主要小区特定KPI指标如下：

1）掉话率，衡量射频问题导致通话结束的比率。该指标与无线接入承载（RAB）和无线资源控制（RRC）连接相关。

2）功率削减频率，是通过频繁接近下行最大允许发射功率的通话比率来测得的。

3）较差导频Ec/Io导致的iRAT切换比率。

4）在高速下行分组接入（HSDPA）业务中，有着较差信道质量指示（CQI）的呼叫比率。

5）上行较差质量指示，由RRM事件导出，该事件与高UE发送功率、高UE误块率或高CQI接收失败率相关。

5.9.1.3 容量

一个小区的容量定义为在合理的覆盖和质量水平下，该小区可以承载的最大业务量。特定的参数（如显著增加导频功率或允许以高功率传输语音信道数据）可以解决质量和覆盖问题，但盲目使用会对容量有明显的负面影响。因此，在改变参数设置时，需要考虑与容量相关的因素。当评估潜在的容量问题时，需要考虑以下主要的小区特定的关键性能指标：

1）下行（DL）发送功率。

2）上行（DL）噪声抬升。

3）信道编码利用率。

4）与资源缺乏相关的阻塞统计结果。

5）反映因资源缺乏而阻塞和拒绝比特率提高的统计结果。

另外，在NodeB和无线网络控制器（RNC）层面，也有一些与容量相关的重要KPI：

1）Iub带宽的利用率。

2）信道元素的利用率。

3）在 RNC 中呼叫处理器的负载。

5.9.2 UMTS 优化的关键参数

图 5.11 从概念上总结了 UMTS 优化的关键参数。在下面的小节中，对影响每个参数的权衡进行了进一步讨论。

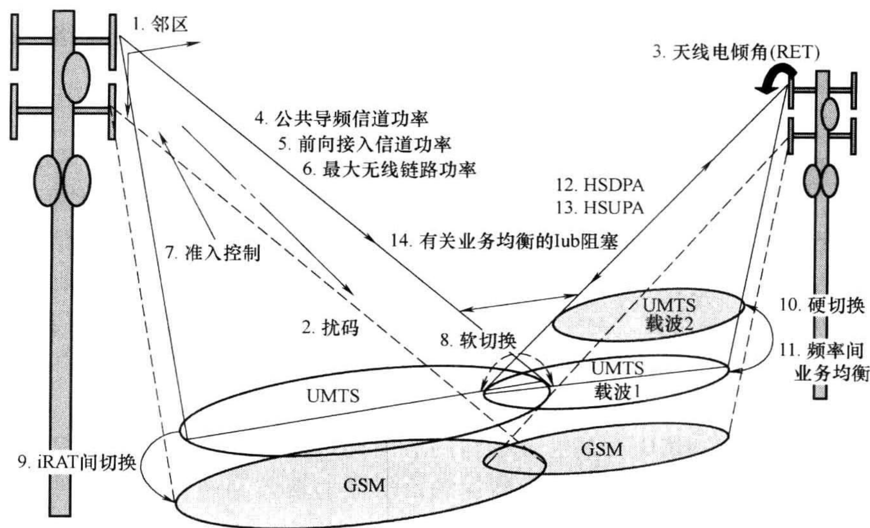


图 5.11　关键的 UMTS 优化参数

5.9.2.1 邻区列表

虽然在第 4 章的自规划技术中已涉及邻区列表，但它也可以作为自优化问题（详见 5.5 节和 5.7.2 节）来对待。

5.9.2.2 扰码

虽然在第 4 章自规划技术中已涉及扰码，但它们也可以作为自优化问题（详见 5.5 节）来对待。在第 4 章中已经详述了有关隐含机制和约束限制的所有细节。

5.9.2.3 电倾角

虽然在 5.7.1 节有关天线设置的开环式自优化的讨论已涉及电倾角设置问题，在 5.6.2 节中提到的自动闭环式方法对电倾角的微调在网络拥有 RET 能力的前提下也是合理的，否则所提出的自适应连续调整是不可行的。从更高层面上讲，需要权衡考虑以下问题：

1）当降低电倾角时（即天线上倾），小区的覆盖区域增加，但是会产生或加剧比如过覆盖、伞状小区、导频污染或容量不足的问题。

2）当增加电倾角时（即天线下倾），小区的覆盖区域减少，这会对纠正过覆盖和伞状小区问题、防止小区干扰其邻区和将业务转移到其他扇区进行负载均衡等很有用。然而，如果电倾角过大，会导致覆盖漏洞。

由此可见，电倾角对小区覆盖的直接影响使得调整该参数成为均衡各扇区间业务时的有效手段。然而，与5.8.1节中介绍的2G移动负载均衡的用例不同，这里所提的机制不具通用性，因为电倾角是一个小区特定参数，而不是邻接小区特定参数。此外，利用该参数的调整实现业务均衡的自由度大大减少，因为一些机制及关键性能指标（如覆盖、导频污染等）还有待认真考虑。然而，在3G网络中，还有其他参数可以支持业务均衡，如邻接小区特定的软切换偏移。

5.9.2.4　CPICH功率

公共导频信道（CPICH）对系统的性能至关重要，并且决定了小区的覆盖区域。因此，确保在整个小区以所需的信号强度和信号质量被正确接收是很重要的。如果不满足这些条件，则UE不能准确解码CPICH，而CPICH是在接收信号时用来进行信道估计的。此外，尽管CPICH中的RSCP和Ec/Io在3GPP中所要求的最小值以上，但是在某些位置，对于iRAT间切换来说，若要它们低于既定门限，则呼叫将会被切换到2G网络中，这将会在接入服务和数据速率方面对用户产生不利影响。

然而，过高的CPICH功率也是不利的。因此，任何优化策略的目标是在最小化CPICH的整体功率消耗的同时，确保满足所需的覆盖和质量约束条件。最小化CPICH功率是很重要的，原因如下：

1）CPICH是一种干扰源。

2）在既定小区中分配给CPICH的功率可作为对给其他公共控制信道进行分配功率的参考。

3）CPICH和其他公共控制信道会消耗来自放大器的传输功率，由于该功率是有限的，故分配给CPICH的全部功率不能用于用户数据的传输。

4）CPICH是不需要进行功率控制的，这意味着在大多数情况下它构成了一种噪声上限，决定着需要进行功率控制的信道绝对传输功率级别（保证正确传输用户数据实际所需的功率），这也间接增加了每业务单位对HSDPA资源的消耗量。

从纯算法的角度考虑，需要考虑以下权衡：

1）当CPICH功率增加时，小区覆盖区域增加，但会产生或加剧如过覆盖、伞状小区、导频污染或容量不足的问题。

2）当CPICH功率减少时，小区的覆盖区域减少，这会对纠正过覆盖和伞状小区问题、防止小区干扰其邻区和将业务转移到其他扇区进行负载均衡等很有用。然而，会产生导频覆盖的问题。

CPICH功率和RET影响的权衡考虑看起来非常相似。事实上，两者确实有很

强的相似性，但也有两点关键的不同之处：

1）当增加 CPICH 功率时，引起容量不足（如呼叫阻塞）的后果比由天线上倾引起的更严重。在两种情况下，由于更多的业务受到阻塞，很有可能使得这些问题更加恶化。此外，在增加 CPICH 功率方面，对容量的破坏性影响还有：①用于用户数据传输的功率越来越少；②由于来自 CPICH 和公共控制信道的额外干扰，使得每单位业务对资源的消耗进一步增加。

2）天线倾角的改变对上行和下行覆盖的影响是相同的。然而，CPICH 的功率改变只改善了下行覆盖。因此，上、下行不平衡的相关问题可能会出现，这就是在实际工程中不建议在不同邻区中使用不同 CPICH 功率值的原因。然而，实际外场测试经验表明，当网络优化过程中，在考虑并密切监视 UL/DL 不平衡的潜在影响时，在扇区基础上的 CPICH 功率调整是一个非常有效的技术。

与电倾角一样，CPICH 功率调整也是平衡扇区间业务量的有效方法。然而，在电倾角方面一些重要的考虑因素和限制条件（详见 5.9.2.3 节）在这儿也同样适用。

5.9.2.5　FACH 功率

前向接入信道（FACH）功率通常是自主参考 CPICH 功率进行调整。因此，在扇区基础上调整 CPICH 功率时，FACH 功率的绝对值也要进行调整。然而，在极少数情况下，调整与两个信道功率相关的偏移量是可取的，这主要是为了改善某些呼叫接入过程的性能。

5.9.2.6　最大无线链路功率

这个参数决定了需要进行功率控制的信道的最大允许传输功率，它通常被定义为 CPICH 功率的函数。注意，在某些情况下，为抵消信道衰落、维持所需的信噪比（SNR），需要大大增加信道的传输功率。在这种情况下，需要权衡考虑如下问题（见图 5.12）：

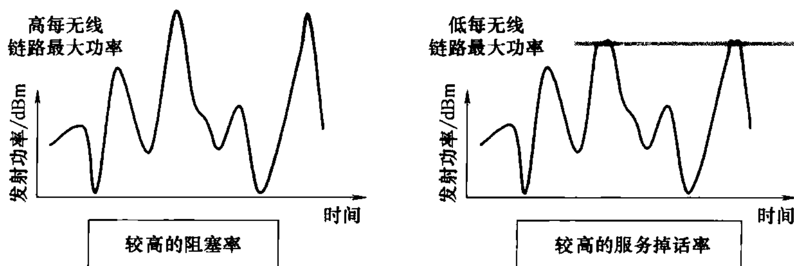


图 5.12　对每链路最大功率的微调

1）如果最大无线链路功率很高，则功率限幅很少发生，从而产生较好的质量。然而，与补偿深度衰落相关的传输功率峰值将会消耗大量资源并降低系统

容量。

2）如果对最大无线链路功率进行限制，则不会引起容量问题，但常常会对处于较差的无线链路环境下的用户进行功率限幅，这会导致较差的服务质量并最终造成高掉话率。

5.9.2.7 接入控制和拥塞控制门限

接入控制（AC）负责控制系统负载，这样就可在不影响系统稳定性的前提下有效地利用容量。在允许一个新的UE接入或者修改已接入UE的连接之前，AC会检查这些行为是否会牺牲已规划的覆盖区域或已有连接的质量。

一般来说，对于宽带码分多址接入（WCDMA）系统，功率是一个稳定的网络负载的整体衡量参数，该系统支持语音业务和比特速率可变的数据业务（见参考文献［15，16，17］）。基于功率的接入控制算法极具吸引力，因为它们在利用WCDMA系统软容量的同时，也考虑了容量与覆盖的折中。因此，大部分商用UMTS系统都将测量小区负载作为一个下行链路（DL）中全宽带传输功率和上行链路（UL）中全宽带接收功率的函数。由于上行链路（UL）的接收功率与热噪声功率相关性很强，故通常通过所谓的热噪声抬升来衡量UL小区的负载，定义为总宽带接收功率除与热噪声功率。

通常情况下，接入控制需要估计在允许接入新呼叫（网络中一个完全新的呼叫或一个新的切换）或对已有呼叫的服务质量升级之后的小区负载增长情况。然后，如果估计的新负载没有超过接入门限，则允许该呼叫接入，针对不同的服务类型有着不同的AC门限要求。在大部分系统中，这种比较是基于平均值的，例如平均小区负载与一个给定门限的比较。

在下行链路（DL）中，主要的制约因素是基站发射功率放大器。在这种情况下，必须合理设置AC门限，以确保功率放大器能够满足小区中所有用户的功率需求，包括快速功率控制带来的功率峰值。准入控制最大门限值基于如下两个因素：

1）服务配置。大量的低比特率用户将会使总发射功率的波动不大，因为总发射功率是由大量的独立随机过程组成的。

2）传播环境。在那些具有更大频率分集的场景中，快速功率控制会使功率波动不大，这允许使用更高的AC门限。

图5.13所示的两幅图说明了上述两种场景，它们均显示了DL瞬时发射功率随时间的变化情况。左图对应发射功率波动较大的情形，右图对应发射功率波动较小的情形。注意，图中发射功率的大幅度波动可能是由在频率分集小并与少数高比特率用户的业务相混合的传播场景下造成的。两幅图均描述了基站放大器的最大发射功率和AC门限，它们在两幅图中设置相同。

在发射功率波动大的场景中，由于功率放大器不能满足基于快速功率控制用户所要求的功率峰值，因此AC门限特别大。发射功率任何时候都不可能跟踪功率的

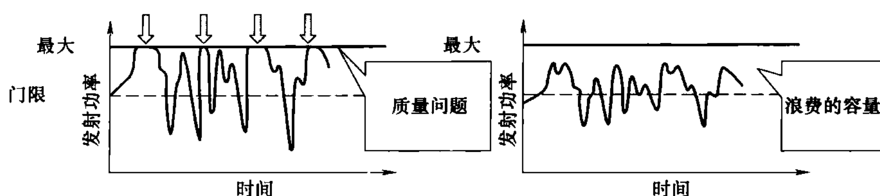


图 5.13 AC 门限在不同环境下的调整

变化，因此终端侧接收信号的质量比所要求的低，这甚至会引起系统掉话的问题。

另一方面，在发射功率波动小的场景中，对于相同的 AC 门限，功率放大器能够很好地满足所有要求的功率变化。实际上，功率放大器在任何限制下都可以应对更多的用户需求。因此，可以得出结论，即在此情况下，AC 门限值很低。

当服务用户数相同时，其他的影响系统负载变化的机制有以下一些：切换数量的变化、用户朝着不利传播环境移动（如小区边缘和室内）和需要大量额外宽带的服务的突发请求，例如在使用可变比特率的服务时。在每个特定小区中，所有这些机制均需要确定 AC 门限值隐含考虑，因为当现有用户引起的负载变化可能非常高时，再允许额外大量的用户接入是不可取的。

通常，目标的保守设置可能导致容量的浪费，相反的做法则可能导致质量和不稳定问题。因此，通过需要权衡已有机制来找到每个扇区的最佳操作点。

另外，必须明确指出在 UL 情况下也要进行类似的考虑，因为激进的设置可能会使用户服务中断或者使整个系统不稳定。

5.9.2.8 软切换设置

当一个用户同时被多扇区服务时，则认为该用户处于软切换状态。基于软切换机制，小区边缘的用户可以获得宏小区和微小区分集增益，从而带来容量和质量的改善。通过不平衡激活集内不同无线链路的功率，软切换门限可以控制不同无线链路的比例。高的软切换门限意味着每个用户有更高的平均服务扇区数（通常被称作 SHO 分支）。

当 SHO 门限过高时，由于信道化码的缺乏可能会在下行链路引起硬阻塞。此外，下行链路的次优功率发射会增加额外的不必要干扰，并引起下行链路拥塞。另一方面，当 SHO 门限过低时，上行链路的干扰增加，会频繁出现覆盖、拥塞和质量问题。

SHO 的好处体现在两个方面：一方面是网络效应的提升，这是因为呼叫质量改善（尤其在边缘小区）使得更少的掉话出现；另一方面，在下行链路，可以通过改善服务质量等价于增加系统容量的方式利用 SHO。给定某种 SHO 配置，可通过调整每链路最大允许功率的参数来利用 SHO 带来的好处。

因此，该功能的优化包括以下两个紧密相关的部分：①给定某种优化规则集，

寻找最优 SHO 开销（用平均每用户的无线链路数来衡量）；②调整控制每链路最大 DL 传输功率的参数，从而以合适的方式利用 SHO。

5.9.2.9　iRAT 间切换门限

在 iRAT 间切换优化场景中，重点讨论基于覆盖的切换（基于 RSCP 和 Ec/Io），该切换在没有连续可用的 WCDMA 覆盖时发生。通常，当目前 UMTS 的无线接入网工作频率的信号质量低于某个门限值且估计的 GSM 系统的信号质量高于另一个特定门限值（详见参考文献［18］中事件 3A 的描述）时，会发生基于覆盖的系统间切换。如图 5.14 所描述，呼叫最初由 WCDMA 系统处理，当检测到覆盖问题后，这些呼叫切换到 GSM 网络中。

最常见的做法是在呼叫保持、移动性平稳和服务质量维持的情况下，最大化 3G 层的利用率。这意味着 iRAT 间切换门限应该配置如下：

1）切换（HO）不必执行过早（例如当 3G 服务质量或覆盖情况处于良好状态时），以充分利用 3G 资源。

2）切换（HO）不可执行过晚（例如当 3G 服务质量或覆盖情况已处于严重恶化状态时），因为这会导致 3G 网络中较差的呼叫质量（甚至引起掉话），增加 iRAT 间切换失败的概率（也影响了用户移动性）。

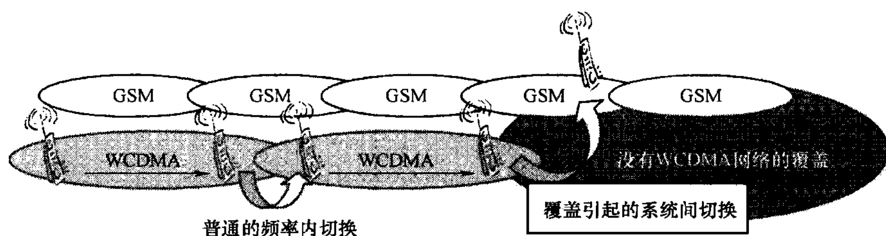


图 5.14　基于覆盖的从 UMTS 到 GSM 的切换

触发 iRAT 间切换的最佳导频 RSCP 和 Ec/Io 门限取决于很多因素，且随着网络拓扑、传播环境和业务模式的变化而变化。因此，有必要采用自动的、基于扇区的周期性优化方式。设计这样的自动优化机制，还需详加考虑其他重要因素：

1）避免过多业务转移到 2G 网络。因此，优化算法必须能够密切监测合适的 2G 质量和拥塞指标，从而在应用的优化解决方案中提供多无线制式支持。

2）门限优化需针对每个服务类型分别独立进行。这种方式会在 3G 层给予数据用户更多优先权。由于语音用户在 2G 和 3G 中均接受无缝服务，而数据用户转移到 2G 时会受到 QoS 急剧下降的影响，故该方式是可取的。

5.9.2.10　异频间切换门限

5.9.2.9 节所包含的基本观点可能适用于此，这取决于多载波 UMTS 网络中运营商的业务管理策略。

5.9.2.11　层间负载均衡参数

层间负载均衡属于 3G RRM 优化范围之外，故在 5.11 节单独讨论。

5.9.2.12　HSDPA 设置

通常，HSDPA 性能在无线环境中通过逐小区 CPICH 和天线倾角的精细调整而得到优化。此外，在扇区基础上调整以下参数也可获得显著的性能改善：

1）高速物理下行共享信道（HS-PDSCH）码道的数量。虽然这种分配通常是动态的，且作为无线资源管理（RRM）功能的一部分，但根据每扇区业务和资源消耗情况，对动态分配方案的初始值和边界的优化会取得 HSDPA 和 Release（版本）99（R99）间更合适的折中。

2）高速共享控制信道（HS-SCCH）码道的数量。仔细地优化该设置可以在有效资源利用率和信令拥塞之间取得合适的平衡。

3）测量功率偏移。在每个扇区基础上微调该参数可以避免 CQI 在上、下边界上的限幅，这样也分别避免了容量利用率的次优化和过大的 BLER。

4）HSDPA 切换功率迟滞和触发间隔。这些参数在扇区基础上的调整有利于在小区选择不当和过多乒乓切换之间取得最佳折中，其中选择小区不当会导致低的吞吐量（或掉话），乒乓切换会引起吞吐量下降。

5.9.2.13　HSUPA 设置

同 HSDPA 一样（见 5.9.2.12 节），高速上行分组接入（HSUPA）性能也会从天线倾角优化上获得显著提升。在此之上，另一个关键参数是增强型专用信道（E-DCH）所允许的最大上行（UL）噪声抬升，该参数限制了允许 HSUPA 用户所受到的最大干扰值。类似于接入控制门限值的权衡考虑，如果该参数的值过高，质量将受影响。另一方面，该值过小将会使系统的实际上行容量达不到上行最高容量。

5.9.2.14　基站间负载均衡参数

在该用例中，为将业务从一条拥塞的 Iub 链路转移到不太拥塞的 Iub 链路上，需要使业务在属于不同基站的扇区间取得均衡。实施这种实际业务均衡的机制与目前提到的均衡是一样的：CPICH 调整、RET 微调、邻区间软切换偏移优化。惟一的特殊之处是，它是以缓解 Iub 拥塞为目标的。

5.9.3　UMTS RRM 自优化的外场测试结果

UMTS 自优化的集中式方法已在该领域的许多部署中得到验证。由于策略的制定可以灵活适应运营商的策略，因此不同的外场测试结果可以根据为优化过程设计的高层目标来分类。注意，这里没有提供网络规模和其他的详细信息，因为主要目的是简化说明所提出的方法在运行网络上能够提供明显的性能改善。表 5.3 中的结果对应非容量受限网络，其目标仅是改善质量。结果显示了不同 KPI 下的相对增益。正增益表示质量的改善，例如掉话率的减少、业务量的增加等。

表 5.3　以质量为目标的场景中自优化 KPI 的改善

运营商	1	2	3	4	5	6	7
设备商	A	B	B	C	A	B	B
CS 业务	9.1%	~	10.0%	~	2.7%	~	N/A
PS 业务	~	9.7%	10.7%	3.0%	~	~	~
CS CSFR	30.7%	20.4%	22.4%	36.8%	35.9%	~	17.5%
PS CSFR	26.7%	59.0%	7.7%	34.4%	44.3%	46.6%	73.6%
3G CS DCR	39.3%	14.3%	35.3%	16.8%	27.3%	10.7%	32.2%
3G PS DCR	5.5%	N/A	12.5%	14.1%	23.8%	15.2%	N/A

注：N/A 表示相应的 KPI 在部署中没有评估；~表示 KPI 增加量很微小。

此外，表 5.4 显示了某网络的运行结果，该网络的高层目标为在保持或改善质量的同时提升容量。由此可见，在保持或改善质量和覆盖的同时，容量得到了提升。关键的质量指标（如 DCR 或 HSDPA 吞吐量）保持不变或得到了改善；通过观察业务的增加量和切换到2G 网络中的用户减少量，可以看出覆盖得到了改善。

表 5.4　以容量和质量为优化目标的网络环境中自优化 KPI 的提高

运营商	8	9	10
供应商	A	B	B
CS 业务	9.5%	9.4%	5.9%
PS 业务	N/A	N/A	N/A
CS CSFR	N/A	~	30.0%
PS CSFR	N/A	~	N/A
3G CS DCR	~	1.1%	8.7%
iRAT HO CS	30.9%	19.3%	17.3%
HSDPA 业务	N/A	N/A	1.7%
HSDPA 吞吐量	18.6%	19.3%	2.3%
CQI 均值	28.2%	28.2%	10.2%
发射功率均值	24.1%	33.6%	15.6%
CS 容量	25.0%	13.0%	9.0%
3G PS DCR	5.5%	N/A	12.5%

注：N/A 表示相应的 KPI 在部署中没有评估；~表示 KPI 增加量可忽略。

5.10　LTE 网络闭环式自主优化

LTE 系统是第一个将自优化功能标准化的无线系统，这也意味着测量、报告、

协调和信息交换机制都可以以分布式实现自优化功能。正如本书前面介绍的，对于某些用例使用分布式方法比较合适，而其他用例则使用将网络看作一个整体的集中式方法更佳。尽管如此，在必要的功能未被标准化且厂商特定的分布式功能不可用时，只能选择集中式的自优化方案。在这种情况下，运作方式将选用在 2G 和 3G 网络中已被成功采用的方式（参考 5.6.2 节自主优化的闭环架构，5.6.1 节介绍了一些需要使用开环架构的用例，例如那些不能进行远程修改的天线设置）。下面总结了集中式架构的关键优势[⊖]：

1）假设 OSS 可以提供大量不同种类的性能计数器，在增强型基站（eNodeB）端无需标准化具体功能就能实现功能强大的优化算法。这样，当前 2G 和 3G 系统中详细的性能测量支持是足够的。

2）最优化算法可以着眼于整个网络，这是由于整个区域的信息都有惟一的来源，即 OSS。根据 2G 和 3G 系统的经验，对于某些关键算法，将不同小区的信息关联起来是非常重要的，但这样不仅会增加运算复杂度，并且还需要对分布式架构下协调和信息交互的过程进行标准化。因此，集中式方法进入市场的时间会比较短，这是由于分布式架构下新的优化方法需要对新基站之间的协调处理过程进行标准化，除非采用分布式非标准化机制来协调各基站。

3）鉴于分布式 SON 在当前 2G 和 3G 网络中并不适用，目前所有的多无线制式自优化策略都需要在集中式架构（或至少为混合式，即允许选定的 LTE 自优化算法在分布式模式下运行）下提出。不过，未来将会逐渐出现支持分布式的多无线制式自优化策略的标准或专利。

4）对于相对复杂的算法，只有集中式架构能够保证自优化方案在不同设备制造商提供的网络设备中的实现保持一致。

5）集中式方案可以更合理地协调那些目标冲突的自优化策略（见 3.2.3 节）。

另一方面，分布式架构可以使自优化的实时运行更加方便，而受 OSS 性能指标更新速度限制的系统响应时间是集中式架构的更大挑战。

5.10.1 自动邻区关系

5.10.1.1 同频 LTE 自动邻区关系

自动邻区关系（ANR）功能主要是减少邻区关系（NR）管理的人工参与。邻区关系存储在邻区关系列表（NRT）中，表中包含每个邻区关系的入口信息，目标小区标识（TCI）和一些属性（No Remove、No HO 和 No X2）。TCI 主要通过 E-UTRAN 小区全局标识（ECGI）和物理小区标识（PCI）来惟一标识小区。

标准化的自动邻区关系功能位于 eNodeB 端且分布式运行，eNodeB 端存储着每

⊖ 对此更详细的分析和讨论参考第 3 章。

个小区的邻区关系列表。自动邻区关系完成以下任务：①增加和删除邻区关系；②为O&M 添加/更新邻区关系提供管理途径；③通知 O&M 邻区关系列表的变化。检测并添加一个同频 LTE 邻区的过程如下：

1）eNodeB 向与其连接的 UE 发送包含小区特定偏置（Ocn）的邻区 PCI 列表，并配置相应测量的触发条件。

2）当 UE 检测到某个小区的接收信号强度比当前的服务小区高出一定门限时，eNodeB 会收到那个小区的 PCI 信息，相关的测量报告也会上报给 eNodeB。无论这个 PCI 是否在小区的邻区列表中，都会进行这个过程。

3）如果上报的 PCI 不在邻区关系列表中，eNodeB 将指示 UE 解码新发现 PCI 的 ECGI、跟踪区域代码（TAC）和所有可用的公用陆地移动通信网（PLMN）标识。然后 eNodeB 会为 UE 读取与检测到的 PCI 相关的邻区广播 ECGI 安排空闲周期。

4）这个过程结束后，UE 会向 eNodeB 上报新邻区的 ECGI。

5）eNodeB 对该信息进行处理并决定是否更新邻区关系列表。最后，如果需要，eNodeB 会建立新的指向新邻区的 eNodeB 的 X2 接口。新的邻区关系可以配置为默认属性，切换（HO）、X2 接口建立及 ANR 过程都可以对邻区关系进行删除[20]。

图 5.15 总结了该过程。

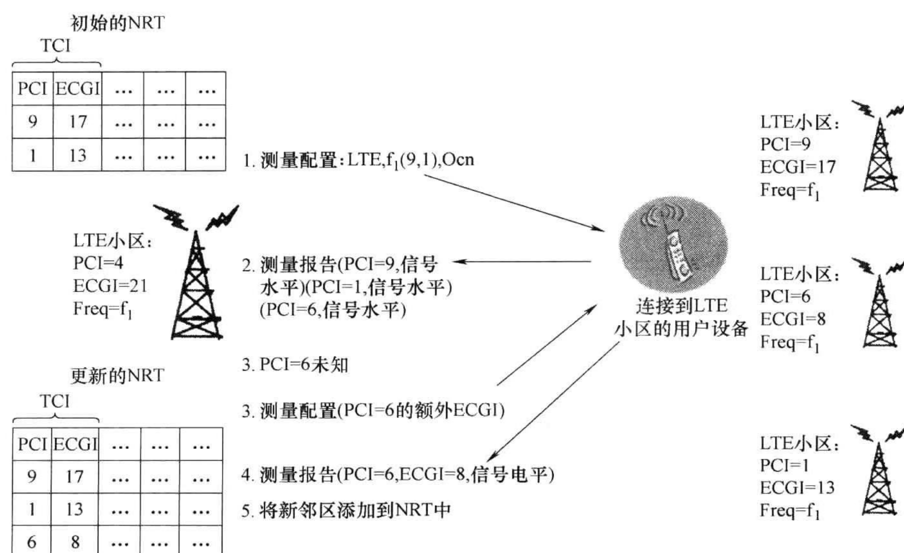


图 5.15　频间 LTE ANR 过程

5.10.1.2　iRAT 自动邻区关系与 LTE 频间切换

ANR 允许 LTE 小区通过 UE 测量自主地找出 2G/3G/LTE 网络邻小区的小区全

局标识（CGI）。Release 8[21,22]中定义了用于 LTE 的 eNodeB 检测 LTE 邻区的 ANR 功能，而 Release 9[19,20]未改变其定义。然而，目前 2G/3G 小区还没有相关的通过 UE 测量自主地识别 2G/3G/LTE 网络邻区的 CGI 标准化机制。

ANR 对多无线制式的支持也是分布式实现的，eNodeB 可以惟一地识别新的系统间（iRAT）和频率间 LTE 邻小区。首先，eNodeB 必须配置 UE 在异系统（和异频）载波上来搜索新的邻区，只有工作在被配置的载波上的邻区才会被发现[19]。检测并添加新的 iRAT 或频间的 LTE 邻区的过程如下：

1）eNodeB 向与其连通的 UE 发送测量频率的列表，并配置系统间和频间测量的触发条件。每一个测量的频率段和与其对应的已定义邻区 PCI㊀列表一起被发送。

2）在某一时刻，某一频率下或某一系统下，UE 将检测到的 PCI 和相关测量报告一起上报给 eNodeB。UE 可以独立地检测出 PCI 是否在相应系统或频率的邻区关系列表中。

3）如果上报的 PCI 不在邻区关系列表中，eNodeB 将指示 UE 解码 CGI 和与新发现 PCI 相关的区域代码㊁。然后，eNodeB 会为 UE 读取 CGI 安排空闲周期，CGI 是由与检测到的 PCI 相关的小区广播的。

4）这个过程结束后，UE 会向 eNodeB 上报新邻区的 CGI㊂。

5）eNodeB 对该信息进行处理并决定是否更新邻区关系列表。

图 5.16 总结了该过程。

在多无线制式的环境中，运营商目前负责对非 E-UTRAN 小区的邻区进行定义。为了扩展 UTRAN 小区的 ANR 功能以自主地检测 3G 小区的 2G/3G/LTE 邻区，从而减少运营商的工作量，已经建立了一个新的工作项目（WI），计划在 Release 10 中解决[23]。

5.10.2　移动负载均衡

正如 5.8.1 节所讨论的，在移动通信系统中，网络负载由用户的空间分布决定。在可达网络容量下平衡网络负载以获得更好的网络性能是网络规划的目标之一，例如，在预计高业务量的区域中增加小区密度。然而，再详尽的网络规划，也不能预计负载随时间的动态变化。例如，在工作时间办公区的负载较高，晚上住宅

㊀ PCI 所包含的信息和具体的蜂窝技术有关。对于 FDD UTRAN 来说，它指代载波频率和主扰码（PSC），对于 TDD UTRAN 来说，它指代载波频率和小区参数 ID。对于 GERAN 中的 GSM 演进（EDGE）数据增强速率来说，它指代频率带宽指示、基站识别号（BSIC）和广播控制信道（BCCH）的绝对无线频率信道编号（ARFCN）。

㊁ GERAN 的路由选择区域码（RAC），UTRAN 的位置区域码（LAC）和 RAC，E-UTRAN 的 TAC。

㊂ 如果检测到的小区是一个闭群用户组（CSG）或混合小区，则根据 3GPP TS 32.300 规定，UE 也要向服务小区报告 CSG ID。

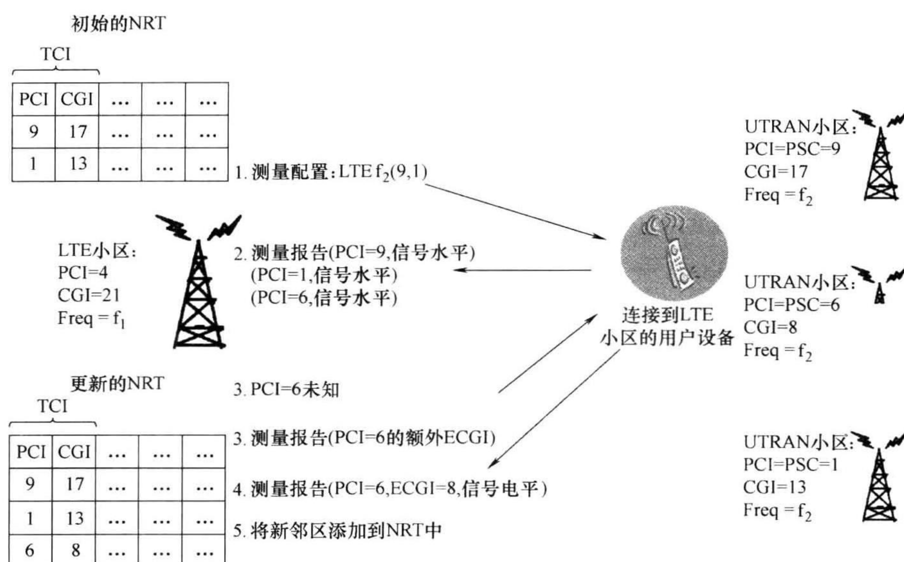


图 5.16　异系统 ANR 过程

区的负载较高；或者由于周围的某一特殊事件导致某一种传输设备上业务量的激增。这种动态调整是在网络运营的范围内的，动态负载均衡旨在优化网络参数，使负载在相邻小区间均衡，本质上也就是将高负载小区的负载转移到低负载的小区中。

然而，在 2G 和 3G 网络中，实现负载均衡只能采用一些非标准化的解决方法，在 LTE 网络中分布式移动负载均衡（MLB）已经作为 SON 的一个用户例写进了 3GPP 的标准。因此，通过测量和使用标准化接口，负载均衡可以自主地进行。

在 LTE 系统架构演进（SAE）中，eNodeB 与核心网之间通过 S1 接口连接，与其相邻的 eNodeB 通过 X2 接口连接。这种分布式的架构可以让相邻 eNodeB 之间的信息交互直接而迅速，这也是出于负载均衡的目的。利用这些机制，一个过载的 eNodeB 可以直接从其邻区获得该邻区当前无线资源的使用情况。关于 LTE 系统内的负载均衡过程的总体描述和一般要求参见参考文献［13］和［19］。

5.10.2.1　3GPP 对 LTE 移动负载均衡的支持

在 3GPP 中，MLB 基于分布式机制，其算法在 eNodeB 端执行。为了支持该用例，实现分布式 MLB 功能，下述机制已经标准化，这些机制是厂商特定的[19]：

1）负载上报：通过这种机制，eNodeB 可以通过 X2 接口和其他 eNodeB 交换负载信息（LTE 系统内场景[13]），或通过 S1 接口与采用不同无线接入技术的基站交换负载信息（系统间场景[24]）。基站可以要求其他基站发送（只发送一次或周期性发送）或终止发送负载报告。

2）基于切换的负载均衡：过载小区可以为某一组用户初始化切换进程，并指示切换原因为“减轻服务小区的负载”。

3）切换与小区重选参数调整：为了便于协调调整，规定了 eNodeB 两两之间通过 X2 接口进行协调的机制。根据协调机制，源小区为目标小区提供新的参数配置建议，这些参数的调整是基于相对值的（将当前的配置作为参考值，增加或减少一个 delta）。一旦收到该建议，目标小区会选择接受或拒绝接受其中的配置变化。若接受，则调整相关参数值，若不接受，目标小区需告知源小区合理的参数范围。注意，在 Release9 中，LTE eNodeB 与 2G/3G 基站之间没有这种专门的机制。

此外，为了通过北向接口（Itf-N）控制该功能的行为，管理机制已经被标准化。通过该管理机制，可以激活或撤销 MLB 功能，配置优化策略和采集性能指标。为了明确一个自优化策略，运营商可以定义一组有不同优先级的目标，例如，给“控制因过载导致的掉话率在 2% 以下”这一目标分配最高的优先级，而给“维持另一个 KPI 在 3% 以下”这一目标分配较低的优先级。各种可能的优化目标的完整优先级列表，单位、取值和 MLB 的不同的性能参考参考文献 [25]。

5.10.2.2　LTE 移动负载均衡的一般方法㊀

图 5.17a 描述了属于源基站（SeNB）和目标基站（TeNB）的两个小区之间负载不平衡导致属于源基站的小区过载的情形。

为了实现负载均衡的目标，某些用户必须进行切换（从源小区到目标小区），而非等到无线环境变化引起自然地切换，切换可以通过以下两种机制实现：

1）小区间增加额外的切换门限（见图 5.17b 和 c 的虚线所示），来改变小区间的实际边界。

2）对负载的控制是通过一些特定用户的切换来实现的。一般地，这步完成后，需要微调切换门限以实现小区边界的合理改变，因此保证需要进行切换的 UE 仍然与目标小区连通而不会由于最佳服务小区是源小区（即 RSRP 最高的小区是源小区）又切换回源小区。

5.10.2.3　移动负载均衡过程

当 eNodeB 某个小区的负载超出一定的门限就会触发负载均衡过程。通过 X2 接口，eNodeB 初始化负载上报过程，获取邻小区的空闲容量信息以实现负载均衡，并创建可能的目标小区列表。另一方面，SeNB 向管理邻小区的 eNodeB 发送资源状态请求（RESOURCE STATUS REQUEST）消息，一旦接收到请求，邻小区的 eNodeB 便会周期地向 SeNB 发送它们的负载状态信息[13]。然后 SeNB 便向 UE 发送请

㊀ 5.10.2.2 节、5.10.2.3 节，5.10.2.4 节和 5.10.2.5 节中的工作是在 FP7 SOCRATES 项目[26] 中进行的，由欧盟委员会提供部分资金。

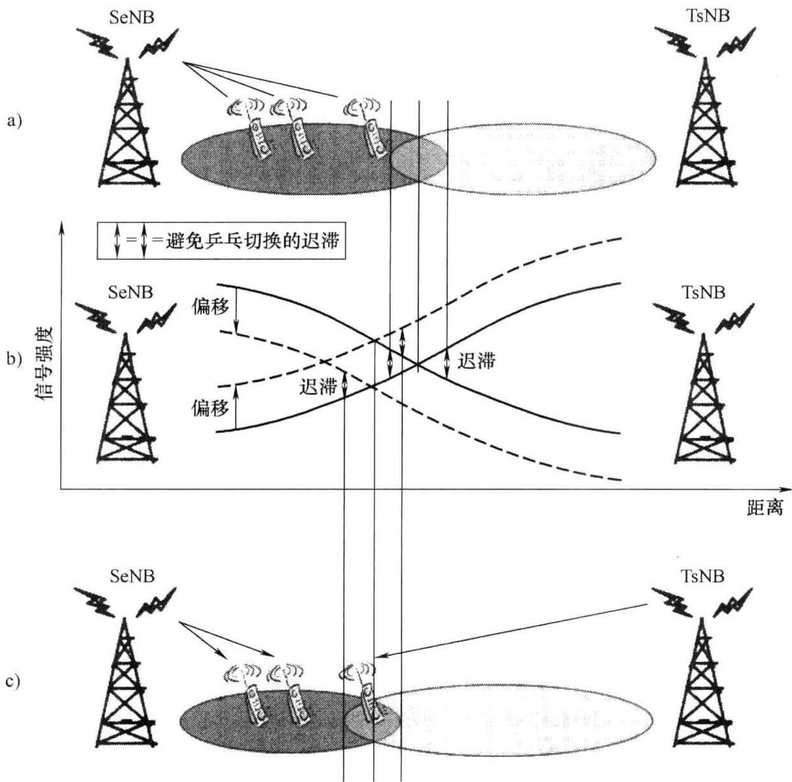


图5.17　LTE网络的移动负载均衡

求，收集可能的TeNB与切换有关的测量信息。

除了这些信息以外，MLB算法还需要考虑将其负载转移到邻小区后对自身负载的影响。实际上，如果转移到某一小区的负载预计会超过其上报的空闲容量，允许和拥塞控制机制将会拒绝切换请求，这将会增加达到合理负载分布的时间，并增加不必要的信令开销。当估计对目标小区负载的影响时，应该考虑到服务每个UE所需的资源和UE经历的信干噪比（SINR）密切相关，执行切换后SINR一般会改变。

通过上述的负载估计过程，SeNB需要采用专门的算法来寻找切换门限的最佳设置以及切换到每个TeNB的UE集合。接下来，相应的切换指令会下发给已选UE。由于该切换是由负载而非由无线环境触发的，因此在切换请求中会明确切换原因。

此外，为了防止因无线环境因素而导致UE又切换回源小区，需要维持新的小区边界，邻小区之间通过规定的X2接口协调调整切换参数。对该相互协调过程的详细描述参考5.10.2.1节。

5.10.2.4　切换门限分配算法

实现获取 TeNB 和切换门限的最佳配置的具体算法是各厂商制定的。为了方便说明，根据 eNodeB 的数目和参数的调整定义了两种基本策略：

1）方法 1（见图 5.18 a）：该算法主要解决如何将负载转移到尽量少的邻小区。由于目标小区的数量较少，所以这种方法可以减少信令交互量。对于严重过载的小区，算法可以迅速将工作点转移到最大切换偏置附近。然而，切换偏置过高会带来更剧烈的变化，从而无法准确估计负载均衡后目标小区的负载情况，最终导致切换请求被拒绝，增加收敛时间。

2）方法 2（见图 5.18b）：该算法与第一种算法相比，负载在邻区的重新分配更平均。由于 SeNB 需要与更多的 TeNB 之间进行交互，所以这种算法会导致 X2 接口的信令开销更多。然而，该算法可以在较低的切换偏置下运行，会使负载均衡后对目标小区负载的估计更准确。5.10.2.5 节的仿真采用了该方法。

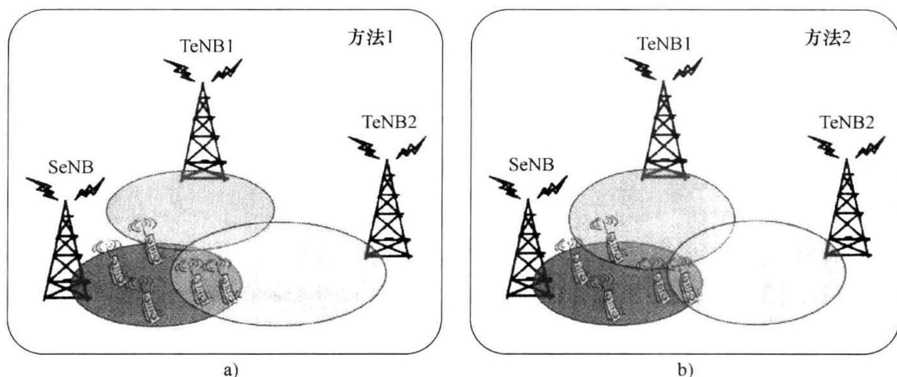


图 5.18　基于 MLB 切换偏置而得的重叠区域

5.10.2.5　仿真

上述 MLB 功能的性能在 EUFP7 SOCRATES 项目[27]中进行了评估。负载均衡算法和负载估计的数学框架可参考参考文献［28］。

仿真工作将不满意用户数作为主要性能评估指标，其目的是评估算法在不同网络条件下的自适应性和性能增益。

1. 资源受限引起的不满意用户数

该指标描述了仿真区域内由于资源受限而导致链路性能不佳的用户数，其中链路性能需要满足一定的 QoS 目标。负载均衡旨在通过将过载小区中的负载转移到其他同频邻区来降低该指标。整个网络的不满意用户总数等于各小区不满意用户数之和[28]：

$$z_{\text{load}} = \sum_{A_c} \max\left[0 \cdot M_c\left(1 - \frac{1}{p_c}\right)\right] \tag{5.1}$$

式中　M_c和p_c——小区c的用户数和实际负载。实际负载反映了小区c的负载情况，也体现了小区所有用户所需资源的总和，当该指标超过100%（$p_c > 1$）时，指示小区处于过载状态。根据实际负载得到不满意用户数目的数学推导详见参考文献［29］。

2. 传输功率受限引起的不满意用户数目

对于上行传输，给定业务量需求，尽管物理资源块（PRB）数目足够多，但UE不能以大于最大允许功率$P_{\max}$的功率进行发送。在考虑$P_{\max}$和上行链路每个PRB的目标接收功率时，调度器不能分配给UE更多的资源。功率受限引起的不满意用户总数可根据以下公式求得：

$$z_{\text{power}} = \sum_{A_c} \sum_{(a|X(u)=c)} \left| M_{\max,u} < \frac{D_u}{R(\text{SINR}_u)} \right| \tag{5.2}$$

由上式可知，该指标体现了每小区受限用户数的总和。其中，D_u表示每个用户u给定的平均数据传输速率，根据吞吐量映射函数R(SINR)可以求得给定SINR下每个PRB的数据传输速率，SINR_u为用户u的SINR，$M_{\max,u}$表示给予用户u的PRB最大数目。每个用户u的服务小区c由函数$X(u)$决定。

3. 仿真假设

仿真场景为一组密集用户（热点）在网络中移动（见图5.19）。网络包含12个站间距各不相同的基站。直观上看，该场景很好地符合农村围绕城镇的常见布局。仿真采用MLB方案2，假设系统带宽为5MHz。

仿真中，包含400个用户的热点在30min内从小区27移动到小区13，每次仿真时间也是30min。另外，每个小区中有40个用户以3km/h的速度随机移动（仿真的总用户数为1840）。每个用户的业务吞吐量为30kbit/s。

4. 仿真结果

图5.20所示为下行信道仿真结果，结果表明MLB功能在此场景下通过减少不满意用户数来提高网络性能。

仿真开始时，创建热点并按照指定路径小区27的中心开始移动。当热点移动到小区边界时，MLB算法将热点用户重新分配给小区8和小区5，非热点用户分配给其他的邻小区，这样可获得最高的增益（低于100的不满意用户数）。600s（见图5.19）之后，热点用户组完全进入eNodeB部署密度高而小区覆盖范围小的网络区域。在这种情况下，MLB算法能够实现并保持（直到用户离开这片区域）不满意用户数接近于零，这意味着所有用户都能达到吞吐量30kbit/s的要求。仿真开始1400s后，热点用户组处于小区覆盖大的网络区域，这时通过MLB算法不能使所有用户都满意，尽管MLB功能的效果仍然显著。从仿真结果可以看出，MLB功能的

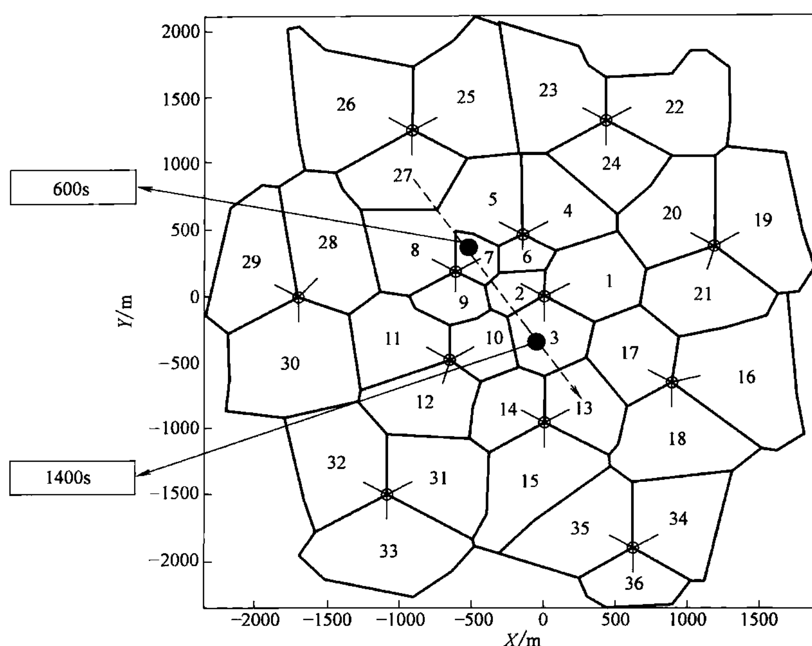


图 5.19　在不规则网络布局下热点业务从小区 27 转移到小区 13

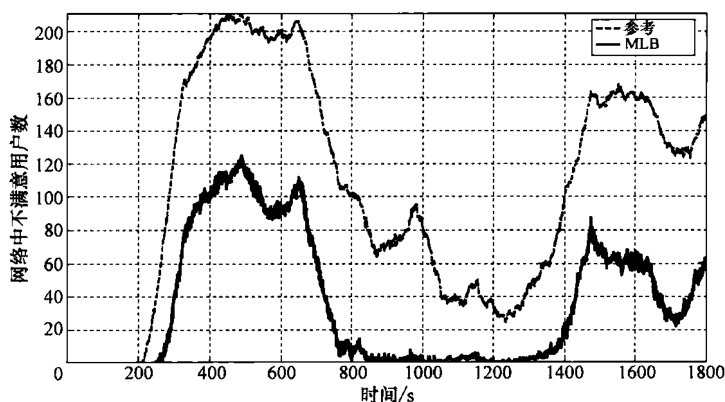


图 5.20　移动热点在不规则网络中移动时的下行 MLB 仿真结果

效果依赖于热点的位置和相关小区的大小。上行链路的仿真结果如图 5.21 所示。

5.10.2.6　3GPP 对系统间移动负载均衡的支持

在 5.11 节中将会讨论如何通过厂商特定的方法实现 MLB 在 2G 和 3G 网络中的应用，这些方法应用在系统间负载均衡下并且拓展到 LTE 系统和其他无线接入技术共存的场景。如第 2 章所述，Release 10 的 RAN3 组 SON 项目主要目标之一是增强 MLB 功能以支持多无线制式环境。

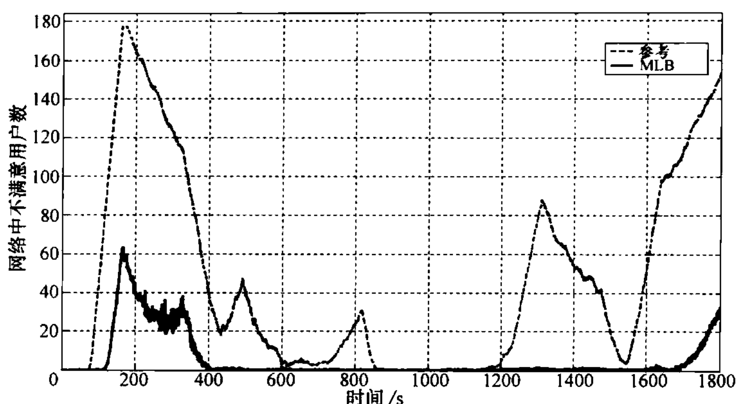


图5.21 移动热点通过不规则网络的上行链路MLB仿真结果

5.10.3 移动鲁棒性优化

5.10.3.1 LTE系统内MRO

MRO负责优化切换参数，从而最小化切换失败次数和对网络资源的无效占用，例如乒乓切换[30]。总之，MRO能提高终端用户的体验，能实现高数据传输速率、低掉话率（DCR）、低无线接入失败（RLF）率等。

该功能通过优化滞后量、触发时间、小区特定偏置、频率特定偏置及小区重选参数[31]来改变以下事件的触发条件：A3（邻小区比服务小区高出一个偏置）、A4（邻小区高于一个门限）、A5（服务小区低于门限1且邻小区高于门限2）、B1（不同无线接入系统中邻小区高于一个门限）、B2（不同无线接入系统中服务小区低于门限1且邻小区高于门限2）。上面提到的优化参数列表可参考参考文献［25］，对不同事件的说明、测量报告及相关参数可参考参考文献［32］。

切换失败可归类为3种情形：过早切换、过晚切换和切换到错误的小区。由于对切换失败情形的检测在小区所属的eNodeB间分布式进行，因此通过X2接口对“RLF INDICATION”和“HANDOVER REPORT”信息进行交互的过程已经被标准化。关于这些信息的详细说明参考参考文献［13］，本节随后也会作一些简要说明。下面介绍从eNodeB 1小区向eNodeB 2小区切换的过程[19]中不同切换失败情形的检测方法（见图5.22）。

1）过早切换：RLF发生在切换过程中或紧跟着切换完成后，UE尝试与源小区（属于eNodeB1）重建无线连接。随后eNodeB1向eNodeB2发送RLF INDICATION消息，一旦收到该信息，若切换还未完成或在少于Tstore_UE_cntxt秒时间前完成，eNodeB2向eNodeB1发送“HANDOVER REPORT”消息，其中Tstore_UE_cntxt为可配置参数。

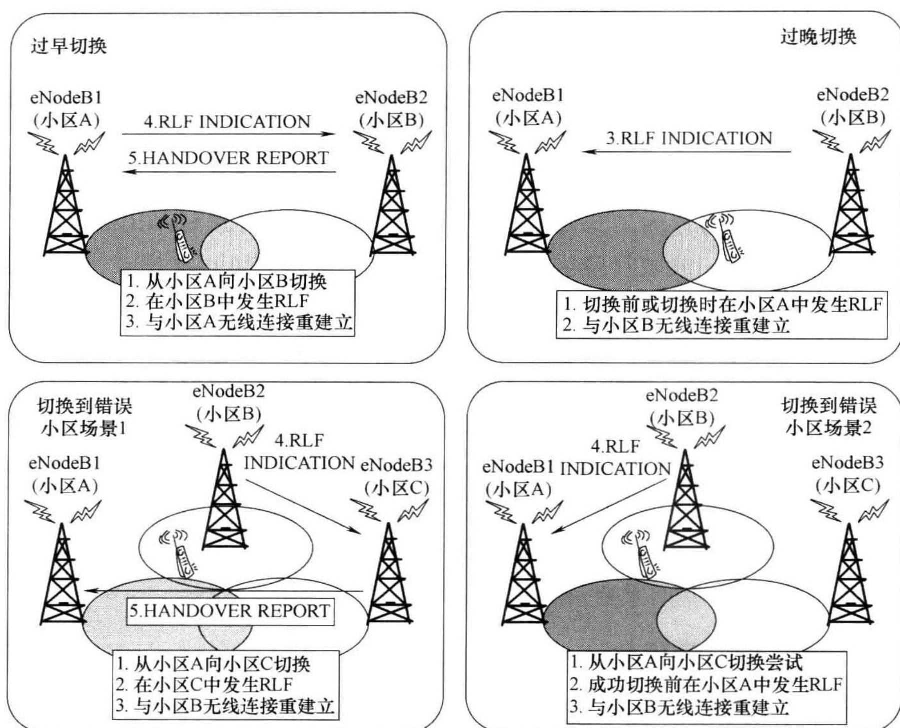


图 5.22 过早切换、过晚切换和切换到错误小区

2）过晚切换：RLF 发生在切换触发之前或在切换过程中，UE 尝试与目标小区（属于 eNodeB2）重建无线连接，随后 eNodeB2 向 eNodeB1 发送“RLF INDICATION”消息。

3）切换到错误小区：RLF 发生在 UE 切换到第 3 个小区（属于 eNodeB3）不久之后，UE 与 eNodeB2 重建无线连接。若切换成功（见图 5.22 中场景 1），eNodeB3 一旦收到 eNodeB2 的“RLF INDICATION”消息，便会向 eNodeB1 发送“HANDOVER REPORT”消息。若切换未成功，UE 与 eNodeB2 重建无线连接（见图 5.22 场景 2），随后 eNodeB2 会向 eNodeB1 发送“RLF INDICATION”消息。

当切换相关小区属于同一个 eNodeB 时，上述切换失败的检测便不需要在 X2 接口上交互信息。

上面已经介绍，eNodeB_A 中发生 RLF 后 UE 尝试与 eNodeB_B 重建无线连接时，“RLF INDICATION”消息会从 eNodeB_B 传到 eNodeB_A。该消息的内容包括：①发生 RLF 之前服务小区的 PCI；②UE 尝试重建连接的小区的 ECGI；③UE 的标识。

另外，切换结束后不久发生 RLF 的小区 eNodeB 接收到“RLF INDICATION”

消息时，“HANDOVER REPORT”消息会从切换的源小区eNodeB发送到发生RLF的小区eNodeB。该消息包括：切换失败情形（过早切换、过晚切换或切换到错误小区）、源小区和目标小区的ECGI。若检测为切换到错误小区，还包括UE尝试重建小区的ECGI。

MRO算法如何调整切换参数是厂商特定的，它在eNodeB端执行（见3GPP规定的分布式解决方案）。为了监视最优化过程并配置最优化方案，其他并行的功能在网络管理器（NM）或域管理器（DM）上执行。运营商可以激活或撤销MRO过程和配置与切换相关的目标失败率[25]。

5.10.3.2 无线接入系统间MRO

通过一些厂商专有的解决方法，MRO也可以在2G和3G网络中实现，目前已经证实MRO可以在系统内/系统间的切换场景中运行，并可以扩展到包括LTE和其他无线接入系统的场景（见5.8.2节和5.9.2.9节）。对于LTE网络，以分布式方法进行MRO的过程已经被写进了3GPP标准（见5.10.3.1节）。

3GPP Release 9标准还未支持多系统场景下的MRO，加强系统间场景下的MRO功能是Release 10的重要目标[33]。

5.10.4 容量与覆盖优化

调整天线设置是优化和平衡容量与覆盖的最直接方法，它可以通过开环式自优化技术实现，可远程电倾角调整可实现，也可采用闭环式自主方案实现。关于电倾角，容量与覆盖之间的折中与UMTS中的情况类似。

1）当减小电倾角（天线向上倾斜）时，小区的覆盖范围扩大，但会产生或恶化一些网络性能，例如过覆盖、伞状小区、小区间干扰增大和容量下降等。

2）当增大电倾角（天线向下倾斜）时，小区的覆盖范围会减小，但可以抑制过覆盖、伞状小区问题，避免邻小区的干扰，因容量问题将业务负载转移至其他扇区。

然而，详细的性能在各系统下是不同的，这是因为UMTS可以通过软切换使重叠覆盖达到一个稳定的水平，而在LTE系统中却不存在软切换。另外，评价不同系统容量和参考信号质量的性能指标也各不相同：参考信号接收功率（RSRP，与UMTS的CPICH RSCP类似）和参考信号接收质量（RSQP，与UMTS中的CPICH Ec/Io类似）[34]。

5.10.5 RACH优化

RACH的配置对网络性能的影响很大。一方面，接入信道的碰撞概率与所选的配置（随机接入过程周期）直接相关，RACH配置对与呼叫建立和切换过程相关的时延也有很大的影响。为随机接入分配更多的资源会降低碰撞概率和接入时延，

但会导致较低的上行系统容量。因此，对于每个特定的网络环境都需要找到合适的权衡点。此外，最小化上行干扰即确保前导码发送功率不能过大也是很重要的。每个小区的最佳配置是由多方面因素决定的，例如服务 UE 的数目、切换率、呼叫建立率等。这些因素在不同的小区是有差异的而且是时变的，因此很难人为地确定每个小区的最佳配置。

在 RACH 优化时需要优化的参数有：前导码格式、前导码发送周期、为不同组（专用组 A 和 B）预留的前导码数目、功率配置（初始功率值和功率调整步长）和退避时间。RACH 自优化用例在本地进行，可以通过分布式或集中式的架构来处理。

随机接入的性能可以通过接入概率 AP（m）或接入时延概率 ADP（δ）来表示，其中 AP（m）表示第 m 次请求接入成功的概率，ADP（δ）表示在 δs 内成功接入的概率。为了估计这些性能指标，需要 UE 提供相关信息。因此，在 3GPP 中规定了 UE 信息上报的过程，允许 eNodeB 要求与其连接的 UE 发送接入成功前的前导码数目和是否发生碰撞的信息。

5.10.6　小区间干扰协调

LTE 基于正交频分复用（OFDM）进行多址接入。OFDM 的隐含正交性可以避免小区内干扰和 CDMA（如 UMTS 和 HSPA）系统中典型的远近效应问题[35]。然而，网络对小区间的干扰还是很敏感的。因此，和射频（RF）优化一样，小区间干扰协调（ICIC）是最小化整体干扰并实现更佳网络性能的最有效机制之一。

给定用户经历的干扰水平取决于来自于邻小区的接收功率，这些干扰邻小区在服务小区分配到该频段上发送接收数据。因此，可以认为 ICIC 是一种与功率控制算法、智能频谱分配方案或两者结合相关的整体策略。LTE 在 eNodeB 之间通过 X2 借口交互标准化信令，从而动态协调调整功率和频率资源[36]。为了保证网络工作在期望的工作点附近并保持稳定，需要进行缓慢的功率和频率资源调整，一般为几百毫秒。相反地，每个 eNodeB 在每个传输时间间隔都可以通过包调度和链路适应策略自动地适应信道条件的快速变化。ICIC 方案主要分为两类：

1）被动方案：该类方案基于对干扰的测量。当测量出的干扰超过某一门限时，系统会采取一些包括传输功率调整和数据包调度的措施来减小干扰，使其达到一个可以接受的水平。

2）主动方案：这种方案以邻小区间未来调度计划为基础，提前做出调整来控制干扰。

5.10.6.1　3GPP 对 ICIC 机制的支持

为便于通过分布式的方式实现主动和被动 ICIC 方案，3GPP 已对一些 X2 消息[13]进行了标准化：

1）相对窄带传输功率（RNTP）：该消息在主动 ICIC 方案中指出了在每个资源块（RB）[⊖]上、下行传输功率的最大期望值。根据此消息，相邻小区就可以知道哪个 RB 被使用且传输功率最高，从而为不同的频率复用方案配置不同的功率模式。

2）高干扰指示（HII）：该消息在主动 ICIC 方案中指示上行链路，相邻小区可以通过该消息知道服务小区将哪些 RB 分配给边缘用户。与下行 RNTP 类似，HII 可在上行链路上用于频谱分配协调。

3）过载指示（OI）：该消息在 ICIC 方案中指示上行链路，它测量干扰噪声比并将其量化值（低、中、高）报告给邻小区。该消息的一种应用是调整上行功率控制参数来将 IoT 控制在允许的最大水平内。

5.10.6.2 LTE 在频谱和功率分配方面的约束

为了清楚理解 ICIC 在实际中的预期效果，需要知道 LTE 系统在功率和频谱方面的约束。LTE 系统的频谱灵活性很高，传输带宽为 1.4 ~ 20MHz[36]。3GPP 规定，LTE 系统下行链路的多址接入方式为 OFDMA，上行链路为 SC-FDMA。上行链路需要在频域上分配给特定用户连续的 RB 资源以实现单载波传输，而在下行链路中，则可以将可用的不同 RB 资源自由地分配给用户。表 5.5 列出了标准信道带宽下可用 RB 的数目[36]。

表 5.5 不同 LTE 信道带宽下可用 RB 的数目

信道带宽/MHz	1.4	3	5	10	15	20
RB 数目	6	15	25	50	75	100

下行链路没有对功率控制进行协议规定，因此运营商可以自由地为不同的 RB 分配不同的功率密度水平，惟一的限制是分配给同一用户的所有 RB 的传输功率必须相同[36]；而上行链路的功率则是基于部分功率控制（FPC）算法的[37]。传统功率控制方案的思路是基站接收所有用户信号的 SINR 相同，因此上行传输功率需要完全补偿路损。作为可选方案，FPC 算法只能补偿部分路损，这就意味着，与中心用户相比，边缘用户（路径损耗大）会工作在低 SINR 的条件下。该方案假设边缘用户的干扰水平很高，因此减小它们的传输功率会提高整个系统的性能而不会引起过多的中断。FPC 算法主要通过输出功率（P_o）和路损补偿因子（α）控制，其中输出功率 P_o 表明了平均基准功率水平，而路损补偿因子 α 平衡了边缘用户和中心用户的功率减小量。某个 UE 的上行传输功率（P_{TX}）表达式如下：

$$P_{TX} = \min\{P_{max}, P_o N_{RB} L^{\alpha}\} \tag{5.3}$$

式中 P_{max}——UE 最大传输功率；

N_{RB}——分配给 UE 的 RB 数目；

L——下行链路路损。

⊖ 数据传输中可用的基本时频资源。注意，一个 RB 相当于 180kHz 和 1ms。

5.10.6.3　LTE 基本频谱分配策略

目前已有多种频谱分配方案被提出，其主要技术可以被分为 3 类[36]。

最简单的方案是众所周知的全频率复用（FFR）方案，该方案中系统的全部带宽可以被分配给所有扇区和所有用户。FFR 具有高频谱分配灵活度，可以通过将整个带宽分配给单一用户来实现高数据传输速率峰值。但 FFR 不能直接控制干扰，这可能会引起中断，特别是在高负载的情况下。在这些情况下，ICIC 主要基于调度和功率控制策略来实现。

另一种方案为硬频率复用（HFR）方案，该方案旨在通过为同一个站点的各个扇区分配不相交的频谱来减小干扰，这样相互干扰 RB 的无线距离会增大，如图 5.23 所示。尽管中断可以得到显著改善，但是由于将整个系统的带宽不可能分配单一用户，因此该技术限制了每个用户可达的最大吞吐量。因此，HFR 的运用会减少高传输速率服务的可能性，在负载不平衡情况下，由于其缺乏灵活性也可能会导致对资源的使用不当。

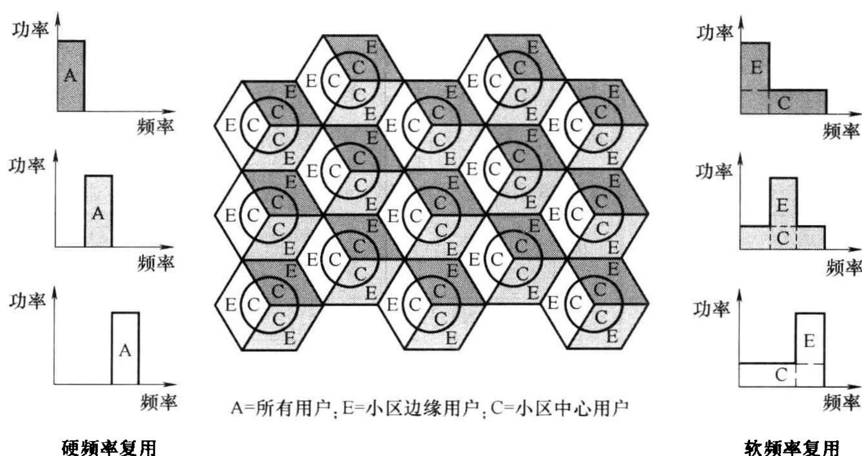


图 5.23　硬频率复用与软频率复用

对上述两种方案做个折中，LTE 系统支持所谓的软频率复用（SFR）方案，软频率复用通过使每个扇区都能利用整个带宽来实现网络容量的最大化，但同时它会调整某些 RB 的功率配置来减小干扰，因此软频率复用能提高边缘用户的吞吐量。目前已经有多种 SFR 方案[38]，但其基本思想如图 5.23 所示。在频谱的某一部分，使用高功率进行传输，该部分频谱对于相同基站下的每个扇区是不同的，而频谱其他部分则使用低功率。其目的是减小边缘用户传输功率的同时不降低中心用户的性能。中心用户可以占用整个带宽，因此能获得最高的数据传输速率。上、下行可以参考不同的频谱模式，但为了简单起见，建议根据某一标准来区分用户是边缘用户还是中心用户。用户区分对于 SFR 的配置相当重要。为了配置小区边缘区域和小

区中心区域的边界，需要仔细考虑多个因素的影响，例如用户的空间分布、分配的资源数目以及服务需求。最直接的标准可以使用RSRP，它完全受路损影响。然而传统的扇形网络布局和阴影衰落的存在意味着高路损用户的SINR条件并不一定最差。另外可以选择RSRQ作为区分边缘用户和中心用户的标准，RSRQ可以看作宽带的SINR，它与实际的SINR关系更加紧密。根据3GPP[32]，当RSRP或RSRQ高于（或低于）某一门限时，A1（或A2）㊀事件都会被触发。

5.10.6.4　ICIC设置及其对自规划和自优化的适用情况

当在SON范畴内考虑ICIC时，有必要区分自规划和自优化。决定使用哪类频谱分配策略可以在自规划策略中考虑，因为这是一个长期或中期的高层决策，需要基于市场策略、网络灵活性作出选择。然而，当应用所选定的频谱分配策略时，需要通过第4章所讨论的传统频率规划技术（在eNodeB被激活前）和进一步自优化使得每个扇区可用于调度的RB集合适用于自规划。一旦eNodeB被商用，需要通过测量对资源分配进行微调，并对业务模式及传播条件的变化和RF配置的更改做出动态反应。至于功率配置（下行功率补偿和上行FPC参数）和小区边缘门限，除了简单地为各类小区和不同形态的小区（微小区或宏小区、市区或农村、不同小区间距离等）采用不同的默认配置外，均不考虑自规划，但基于测量的自优化技术仍可在不同场景下调整配置。关于这部分讨论的总结见表5.6。

表5.6　ICIC相关参数的设置及适用范围［自规划（P）、自优化（O）、不适用（NA）］

参　数	频谱分配策略		
	FFR	HFR	SFR
频谱分配区域(UL和DL)	NA	P/O	P/O
小区边缘门限	NA	NA	O
下行功率补偿	NA	NA	O
上行功率控制(P_0和α)	O	O	O

1. 优化频谱分配

当使用HFR或SFR方案进行频谱配置时，某个小区可用于调度的RB资源集合很大程度上决定了系统性能。可用RB数越多，并行数据流也越多，但同时也会增加小区间干扰从而减少每个RB的吞吐量。从自优化的观点来看，为了实现运营商要求的网络性能的最大化（例如实现小区与单用户性能的均衡），需要遵循这样的协调策略：根据业务量分布、传播环境及服务要求划分每扇区可调度的频谱区域。一个可选方案是以集中式自规划或自优化方法（取决于小区的状态阶段）为每个小区配置可用资源，然而3GPP也提供了某些机制（例如小区间RNTP标识与

㊀　A1：信号优于门限；A2：信号低于门限[32]。

HII 的交互）实现智能的（和专门的）RRM（或分布式自优化）算法来帮助系统调整在各个场景下的行为。

使用 HFR 对 RB 分配进行调整时，需要最小化小区间干扰。此外，因为高业务量需要更多的 RB 来保证所需的 QoS 水平，所以需要同时考虑负载均衡。这也同样适用于 RF 环境特别差的小区，因为每个 RB 吞吐量减少，需要分配更多的 RB 来保证目标 QoS。

同样的基本原则也适用于 SFR，尽管要考虑额外的需求。这是因为可用于小区边缘用户高功率传输的资源量要和决定中心与边缘用户分布的门限一致。如果该门限的设置使得边缘区域很小，则允许较高功率传输的 RB 组需要进行相应的调整。因此，这是一个联合优化问题（既要优化每个扇区边缘区域的 RB 组，又要优化边缘和中心边界门限）。

2. 优化功率设置

为了实现最佳的上行链路性能，合适的功控参数调整是很有必要的。然而由于传播场景和业务状况带来的干扰，对这些参数的详细自规划会非常重要。另一方面，可以基于对 OI 报告的统计分析自优化基准发射功率（P_0）以实现 IoT 的目标水平并保证不同链路预算的可接受性能。某小区接收多个 OI 信息表明该小区会引起很大的干扰，因此需要降低其功率；而小区在未接收 OI 信息时可以增大其功率而不影响邻区以获得更高的性能[39]。此外，路损补偿因子（α）的选择需要权衡容量和中断：α 越高，小区边缘性能会越好，但会降低小区容量。

之前提到，对于下行链路没有明确的功率控制，但当采用 SFR 方案时，可以通过调整功率偏置来平衡高 SINR 与低 SINR 的用户性能，即通过增加小区边缘用户的 RB 传输功率来提高整个网络的性能并满足运营商对 QoS 的要求。

5.10.7 接入控制优化

如 5.9.2.7 节所讲的 3G 系统的接入控制自优化，可以控制系统负载以充分利用可用的系统容量而不降低系统的稳定性。在概念层面上，其接入控制机制与 UMTS 和 LTE 系统的类似，但测量小区负载的方法却各不相同，因为各系统小区负载指标跟具体的无线接入技术有关。

在 LTE 系统中，小区负载的测量是通过计算实际用于业务传输的时频资源所占比重来实现的。一般来说，业务量并不能直接转换成实际的小区负载，因为它与很多因素有关，例如无线环境，小区内用户空间分布，来自邻区的干扰及用户的业务类型。因此，相对单纯参考业务量，更应该基于负载因素来做出准入控制的决定。

接入控制自优化方案的目标是通过对各准入控制门限动态调整来获得容量、覆盖及网络中所有小区服务质量的权衡，在不同的场景下，每个接入控制门限都需要

根据传播环境、干扰情况、业务类型及用户空间分布进行调整。

总之，提高接入控制门限会得到更高的容量，更低的阻塞率和切换失败率，但同时也会降低QoS指标，因为在干扰减小、用户向不利位置移动（如移动到小区边缘或室内）或某些数据业务突然需要额外的带宽（如VBR业务）时，高准入门限很可能使系统没有足够的资源满足所有用户的需求。

另一方面，降低接入控制门限有利于提高当前用户的QoS，但在小区容量提升上过于保守，而且还会增加阻塞率和切换失败率（由切换请求被拒绝导致）。

每个运营商既需要合理权衡容量和通信质量，也需要对不同服务的优先级进行适当排序，但由于每个小区所处的环境不同，因此不能将这些指令直接转换为各小区相关参数的调整。一般来说，静态条件越多，接入控制的门限就会越高，从而会得到更高的系统利用率。因此，只能通过采用自适应的自优化算法来优化接入控制门限，从而确保系统运行的最佳状态。自优化算法需要基于对不同服务的容量和质量信息的详细评估作出最合适的选择，同时需要权衡考虑运营商策略和技术。原则上，此自优化既可以是分布式的也可以是集中式的。然而，问题的复杂度和相关参数的特性决定了需要采用闭环式架构。

5.11 多无线制式网络的自主负载均衡

在不增加额外基础设施的情况下，将所有技术和频率层看作一个联合的整体资源是一项使移动网络工作更高效的有力技术，其中不同的部分有不同的特征。典型地说，不同无线接入技术间的覆盖范围存在重叠说明设备有明显的冗余，应该被以智能和灵活地利用这种冗余，这样可以增加系统整体集群效率或提高其他性能指标，比如覆盖范围和质量。需要动态地灵活使用部署的基础设施，从而使网络可以充分适应运营商在网络生命周期每个阶段的需求和策略。

事实上，不是所有的无线接入技术可以以相同的代价实现相同的服务质量。在定义一个全网络负载平衡策略时，必须考虑这些因素。在策略中，按照服务（语音、流数据呼叫、交互数据呼叫等）的不同，以不同的方式对不同的无线接入技术和频率安排不同的优先级。例如，对于空闲状态，一种可能的策略是优先考虑UE支持的最先进无线接入技术，从而得到最先进的服务。呼叫建立后，UE可以根据网络运营商的要求被转至最合适的层，以使得容量、质量、覆盖最大。

图5.24描述了一个多无线制式负载均衡的基本实例，其中UMTS和GSM层进一步被划分为不同的频率子层。可以看出，当UMTS的两个载波可用时，每个载波可根据运营商策略和它们的带宽（例如，F1：850MHz/900MHz，F2：1900MHz/2100MHz）被用于服务语音业务、数据业务或两者的结合。

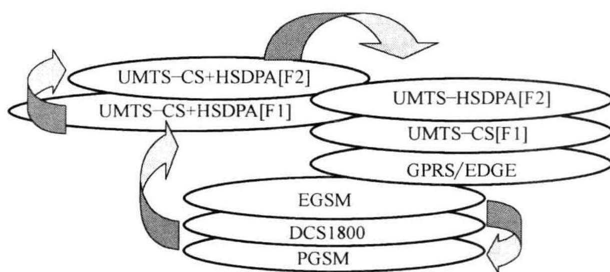


图 5.24　含有双 UMTS 载波和不同策略的多无线制式、多层负载均衡

5.11.1　基于容量的负载均衡

容量问题传统上是通过向已安装的设备基站中添加更多的硬件解决的，同时基础设备制造商还要提供一些 RRM 功能以减轻拥塞问题。这些机制的主要特征是它们可以对突发资源短缺做出快速响应，但这样会牺牲呼叫质量。这些 RRM 解决方案基于呼叫缩减机制（导致呼叫质量下降或阻塞）、盲卸载（在不考虑对于目标小区性能影响的情况下促使或强制 HO）和呼叫抢占的结合，但只能局部而不是整体地解决问题。这些拥塞缓解机制对于严时或短期容量问题（从几秒到几十分钟）是有必要的，但不能有效解决持续问题，因为它们不能保证中/长期业务量增长的持续性。

一种可能的补充机制是使用能宏观全局网络的（即有一个 5.6.2 节中定义的集中式闭环结构）外部自主最优化实体。这个实体与所有无线接入网相连接以便获取配置信息和性能统计，从而采用一系列与运营商业务管理策略相符合的最优化方案，并且根据网络当前业务模式将业务转移到不同的无线接入网中。从这一点来说，讨论集中在 UTRAN 上，其他无线接入技术的情况类似。总体上来说，控制业务均衡机制的参数可以划分为两种等级：

1）小区级参数，影响所考虑的整个小区。

2）邻小区/邻接级参数，只影响某一邻小区关系。这种分类可被划分为下面 4 种类型：

① 频段内邻小区相关（对于相同 UMTS 载波的邻小区）：IAF。

② 频段间邻小区相关（对于不同 UMTS 载波的邻小区）：IEF。

③ 系统间（对于 GSM）邻小区相关（对于 GSM 邻小区）：ISG。

④ 系统间（对于 LTE）邻小区相关（对于 LTE 邻小区）：ISL。

图 5.25 描述了这种多级邻小区概念，同时也阐述了通过改变小区范围进行负载均衡的一个例子。

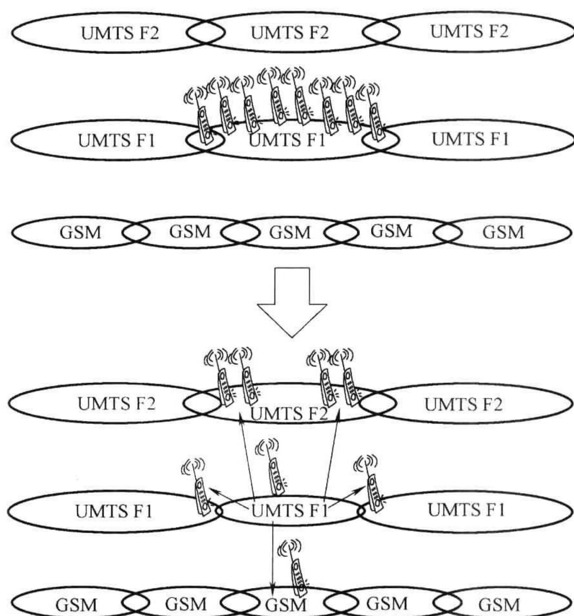


图 5.25　通过改变小区范围进行负载均衡的例子

总体而言，LTE 应具有最高的优先级，之后是 UMTS 和 GSM（受制于终端性能）。这意味着，假设有合适的覆盖范围，小区重选参数的设置应优先考虑 UE 支持的最先进技术。随后，负载均衡技术将被应用于重新调整业务分布。通常应避免将数据业务转移到旧的技术，因为服务质量会明显降低。然而，所有技术在语音服务上能够实现相同的质量，因此用这种业务的用户能在各种技术间灵活转移。

5.11.1.1　UTRAN 端基于 KPI 的负载均衡进程

下面列出了可触发参数调整以进行层间负载均衡的相关 UMTS 指示信息：

1）DL 传输功率；

2）扩频码利用率；

3）因资源缺乏导致的阻塞统计；

4）因资源缺乏导致的对提高比特率请求进行拥塞和拒绝的统计；

5）Iub 带宽利用率；

6）信道元素利用率；

7）RNC 的呼叫处理器负载。

总体而言，当探测到两个邻近扇区间的拥塞或资源利用率显著不平衡时，会触发业务均衡策略。对不平衡的评估在每个邻接基础上进行，但要在两个相邻小区之间综合分析，因为有些参数改变是邻小区特定的，而其他的参数改变（比如 CPICH 功率）会不会区分邻小区的差别而在小区层面上进行。另外，对不平衡的

评估的应用会根据运营商对拥塞/利用率的最大可容忍水平进行调整。一个常见做法是在允许的范围内根据激励的大小执行参数调整，当探测到的不平衡更大时，将会采用更大幅度的改变。

5.11.1.2　UTRAN 端负载均衡机制

两种主要的负载均衡机制可并行使用：

1. 小区覆盖调整

可通过 CPICH 功率和 RET 调整完成。通常，这种机制减小高负载小区的覆盖范围，从而使业务量自动地转移到负载不太重的邻小区。相反地，如果相邻小区高负载，低负载小区会扩大覆盖范围以获得更多的业务量，同时也补偿高负载小区因覆盖范围减少导致的潜在覆盖损失。更多不同的覆盖范围调整方法的细节详见 5.9.2.3 节和 5.9.2.4 节。因为这些调整会直接影响覆盖范围和质量，因此在设计基于容量的负载均衡的详细规则时，必须仔细考虑以上两小节描述的影响。

2. 切换和小区重选调整

这个机制微调 HO 和小区重选门限（在 IAF、IEF、ISG 和 ISL 邻小区的小区级或邻接级）。通过调整这些参数，从而在起始（平衡）点更近或更远的时机触发切换，最终缩小或放大小区的覆盖范围。注意，尽管在高层来看这个原则看上去与小区覆盖范围调整相同，但是有一个根本的不同。因为在这种情况下，导频覆盖没有受影响，因此最优化规则不需要考虑潜在的问题，比如导频覆盖空洞、覆盖过度、导频污染、伞状小区等。

邻小区特定 HO 参数定义为对邻小区的无线测量结果的偏置，该无线测量用于触发切换决策。以这种方式，邻小区通过正值或负值进行偏置，以随着邻接小区边界变化激励或阻碍 HO 决策。基于邻小区间的重叠区域，重新界定了不均匀的小区边界，这为调整小区尺寸和形状以适应业务量分布和系统布局提供了充分的自由性。在这方面，必须注意 HO 和小区重选参数必须连续变化以减少 iRAT 间过早切换的数目（例如，iRAT 间切换发生在缩小的小区边界而 idle 状态下边界没有进行相应调整，因为若 connected 状态和 idle 状态不协调，在 3G 网络开始的呼叫会在连接建立后立即切换到 2G 网络，从而导致 3G 资源的不必要浪费）和不必要的位置区域更新（例如，iRAT 间切换发生在缩小的小区边界而 idle 状态下边界没有进行相应调整，因为状态的不协调，UE 在结束 3G 呼叫后会立即移到 2G 网络）。更进一步，必须注意，对于 UMTS IAF 邻小区来说，这种机制效率更低、更受限，因为由于存在干扰，边界偏移对呼叫质量影响很大。对于其他的邻小区，由于频率正交，变化会更加显著。

IAF、IEF、ISG 和 ISL 邻小区通过使用不同门限范围（更低的范围意味着更少的附加 HO 和/或重选）来区分对待。而且，一些邻小区可通过配置更有效的 HO 触发条件而提高其切换优先级，以便将更多的业务量转移给它们。总体来说，小区

级参数不如邻接级参数灵活，因此只有当邻接级参数不可用或不足以解决一个容量问题时，小区级参数才会被用到。

5.11.2 基于覆盖的负载均衡

当新的无线接入技术被引入时，在网络生命周期中的一个阶段，新无线接入技术覆盖范围不连续，只覆盖在了有热点业务需求的“孤岛”上。

当部署的“孤岛”没有容量的限制时，若扩大覆盖范围以尽可能为更多用户提供更高质量的如数据应用的业务，将会得到有趣的结果。这个过程暗含了可用容量向额外覆盖的可控转换，主要通过小区覆盖范围调整机制实现。

例如，在 UMTS 中，将容量转换为覆盖的一种方式是控制天线上倾和增加导频功率。这需要以一种精确的自适应的方式完成，目标在于获取尽可能多的额外业务量，并同时保证质量降低到不可接受的程度和预留一些多余的容量以应对突发的大量负载和业务量。要并行使用负载均衡（主要对于语音呼叫）以将呼叫转移到不同的层，从而释放资源以应对额外的业务量或覆盖的增加。

5.9.2.3 节和 5.9.2.4 节详细介绍了覆盖范围调整的潜在影响。因为这些调整会直接影响覆盖和质量，因此在设计基于容量负载均衡的规则时，必须仔细考虑这两小节描述的影响。

5.11.3 基于质量的负载均衡

大多数质量问题在最大化容量和/或覆盖范围后解决。然而，还需考虑附加机制，主要对于那些干扰引起质量问题的情形。典型的质量问题是：掉话、高 BLER 和/或低数据吞吐量。

在这方面，负载均衡通过将数据量从不好的频段移动到干扰较低的频段来帮助降低干扰水平。理想情况下，对于语音呼叫，建议将所有技术看作潜在候选技术。然而，对于数据业务，不建议将用户移到不太先进的无线接入技术。在 UMTS 网络中，不同载波的质量情况可通过 CQI 分布和 Ec/Io 统计获得。

发现质量问题并决定业务应向哪个技术转移后，就可应用已被提出的方法（小区覆盖调整和 HO/小区重选调整），尽管在小区覆盖调整中，还需对 5.9.2.3 节和 5.9.2.4 节中提出的注意事项进行考虑。

5.11.4 路测结果

通过使用 5.6.2 节中阐述的一般方法，三个主要的多层负载均衡策略（基于容量、覆盖范围和质量）被应用于双载波（850MHz 和 1900MHz）UMTS RNC 中。两个载波之间的服务（它们都携带语音和 HSDPA 数据业务）没有区别，并且在两个频率层灵活运用业务量均衡算法，尽管运营商的策略禁止将 GSM 作为语音负载均

衡的目标层。表 5.7 说明了经过 10 次迭代，自适应优化后的结果。下面进一步阐释了表 5.7 中展示的一些 KPI：

表 5.7　采用多层负载自由化后 KPI 的改善

	原始 KPI	最终 KPI	KPI 提升
高资源利用率(%)	5.92	4.19	29.22%
语音 DCR(%)	1.91	1.46	23.56%
语音呼叫建立失败率(%)	2.05	1.16	43.41%
HSDPA 吞吐量(kbit/s/小区)	1095	1200	9.59%
HSDPA 呼叫建立失败率(%)	2.09	1.19	43.06%
语音/Erlangs	28944	28140	2.78%
语音业务份额 1900MHz(%)	38.51	44.93	16.67%
HSDPA 业务量/Gbit	4710	4781	1.51%
语音移交至 GSM(%)	0.571	0.423	25.92%

1）高资源利用率：充分考虑了准入控制的拒绝、直接重试、负载共享或者其他和与容量不足相关的事件。

2）HSDPA 吞吐量：定义为每 TTI 每小区的平均吞吐量。它表示没有码分复用时用户经历的吞吐量，并且用户在整个测量期间一直在传输数据（没有静默期）。

3）1900MHz 语音业务份额：表示由 1900MHz 层支持的语音业务占总语音业务的百分比。因为每个频带内的小区数目相同（并且考虑了两个频带之间的传播损耗差异），1900MHz 载波比 850MHz 载波干扰小得多。因此，优化时与质量相关的规则试图将更多的业务从 850MHz 频点转移到 1900MHz 频点上。

4）语音移交至 GSM：因覆盖问题移交给 GSM 的 UMTS 语音呼叫的百分比。优化时基于覆盖的优化策略负责提升该性能参数。

5.12　绿色 IT 的多技术节能

除了完全与服务质量相关的性能指标外，今天的电信业务面临来自诸多方面的与日俱增、空前的压力，它们需要使产品和运营模式变得更加环保，同时在设计无线运营商、手机制造商和网络基础设备商的运营策略时，所有与绿色 IT 相关的内容都受到越来越多的关注。目前已经针对移动网络的能量效率开展了多个不同组织的合作研究项目[40,41]，并且这方面的研究已经受到了 NGMN 和 3GPP 的广泛关注（见第 2 章）。

总的来说，社会上主要从两个方面体现对环境的尊重和保护。一方面，应尽可能通过回收经过处理的产品来获取制造网络中不同硬件的材料，或者至少应尽可能地持续回收利用超过使用寿命的产品的不同组件。另一方面，特别关注它们的能量

消耗，应该尽可能地减少能量消耗。这种趋势对于与无线通信相关的那些设备也不例外，但是更普遍地贯穿于许多企业和市场[42]。另外，这些措施对于移动网络运营商的吸引力不仅仅在于实现保护和尊重环境的社会责任上，只要看看投资回收率（ROI）这点，就知道节能（ES）和绿色 IT 的商业价值本身就具有强大的吸引力。在这一节中，主要讨论如何尽可能减小无线蜂窝网络的能量消耗，而不讨论制造工艺方面的问题。

5.12.1 从不同角度实现节能

可以采用不同的方法来尽可能减小蜂窝网络的能量消耗，并且由于它们之间不存在相互冲突，所以可以并行地采用。其中，最主要的一些方法如下（见图 5.26）：

1）从能量消耗角度考虑的手机高效设计方案。这种方法与硬件设计紧密相关，并且可被用于现行所有的无线接入技术中，这是因为终端的使用寿命要远比传统网络持续运行的时间期限短。

2）尽可能采用能延长手机电池使用时间的无线规划和优化技术。例如，在 UMTS 中，这种技术包括对空闲状态寻呼的非连续接收（DRX）周期系数这些软参数，可以控制空闲状态频段内、频段间和 iRAT 邻小区的执行测量的参数，空闲状态的小区重选滞后参数和上行功率控制有关参数进行优化。

3）采用可以减小无线传输使用功率的无线规划和优化技术，这些功率包括提供基本信令覆盖范围的导频功率和分配给用户的数据传输功率[43]。这种方案是对已经被广泛用于减小/控制干扰的传统功率控制方案的补充。

4）确保从能量消耗的角度对将要部署新基站的硬件设计进行优化。这对于新网络设备是可行的，即主要针对全球范围的 LTE、一些新兴市场的 UMTS、成熟市场的 UMTS900 等进行网络现代化建设。

5）采用的站点建设方案，需要把空调冷却（A/C）系统在总能量消耗中占有很大比重这点考虑进来。在这个方面，需要考虑两个主要方面：①站点类型和位置，因为室外机柜可能只需要通风机㊀，而室内机柜的良好隔离空间也许会帮助减小 A/C 的能量消耗；②A/C 活动严格控制系统的部署，在具有较少网络活动和较低温度的情况下应尽量减少这部分系统的开销。

6）最后，根据本章中所持的基本观点，优化每个时刻运行的硬件单元的数目，从而在仍保证所需 QoS 的情况下使得它们的数目最小。换句话说，关闭不需要的（比如晚上在办公区域的高容量小区）基站（或基站内的模块）。这种策略将在本节余下部分进行重点讨论[44,45]。

㊀ 由具体的天气状况决定。

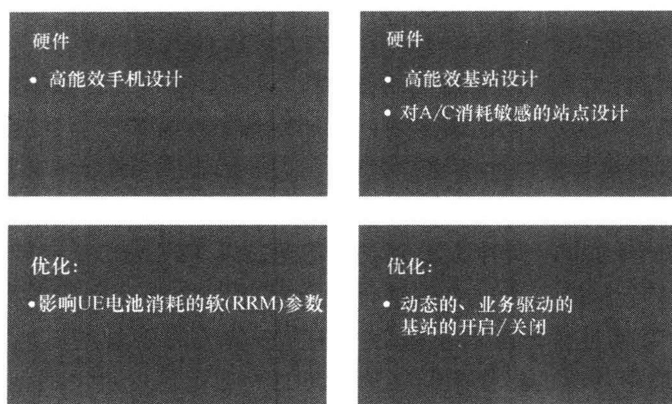


图 5.26　无线蜂窝网络的节能策略

5.12.2 静态节能

最简单的方案就是通过分析历史统计信息来对开启/关闭基站（或者基站中的功能模块）进行预调度，这些历史统计信息包括了基站在一天内各个时间段提供的业务量。然而，这种方法不能盲目地采用，主要原因有两个。

第一，某个基站在很长一段时间内的某个时间内没有提供服务并不意味着它就可以盲目地关闭。如果该基站包括的扇区是某一区域内惟一可用的服务网络，即使在一天当中该基站被关闭的那一时间段内有用户使用服务的可能性很小，关闭该基站也意味着危及所在区域的网络覆盖。运营商必须明确可能会被关闭的候选基站是否作为相应覆盖范围内惟一提供网络服务的设备，即没有其他基站可以提供相应的补偿覆盖（使用相同的或不同的技术/频段）。根据这一点，决定它是否执行 ES 的操作过程，一定要注重服务质量和网络管理的因素。例如，在 GSM 多层网络中，GSM1800 的一个站点很有可能具有一个或多个 GSM900 站点来提供稳定的补偿服务覆盖。然而，要注意高可能性并不是指 100% 可能。而且，要强调的是这种评估需要多方面考虑后综合得出，因为对于不同的服务种类，结论可能不同。例如，对于语音服务来说，关闭某个 UMTS 基站是可以接受的，因为会有合适的补偿覆盖提供给语音业务。然而，如果考虑某种带有一些性能指标要求某种特定数据业务，结论就会完全不同。

第二，即使之前提到的缺少合适的服务补偿覆盖不是问题，运营商也要考虑到业务行为是动态的。如此，刚刚得到正确的结论可能在短期内就变得错误。因此，就需要以特定周期重新进行相关评估测量。例如，在商业区一个新饭店的开张就能完全改变业务行为，并使得某个基站的关闭不应该执行，而这在新饭店开张前，所覆盖区域的非工作时间内业务量大幅度下降，关闭基站是一个合理的方案。

因此，即使通过静态或预调度的方式，也需要以下步骤：①系统建模阶段，该阶段将评估在一天的几个时间段内所有可能被关闭的站点（或站点组）是否有相应的补偿服务覆盖；②结合之前的系统建模，利用对网络统计数据的历史性分析，从而提供一个基站开启/关闭的调度表；③周期性重配置阶段，在这个阶段，重新完成系统建模和调度生成以使系统行为可以适应实际网络的业务环境。图 5.27 归纳了这种集中式闭环方案。

系统建模阶段可以由两种方法完成：①通过基于网络拓扑和传播预测的离线评估，如 5.7.1 节所提，通过 OSS 统计进行更好地校准（这种选择在图 5.27 中标为技术 1）；②通过实时技术，利用一些特殊参数的设置虚拟地实现运营商把某个扇区从网络中移除的操作来间接地收集到相应区域内可用的补偿服务覆盖网络的信息，除非是在相应区域内只有这一个扇区提供覆盖（这种方案在图 5.27 中称为技术 2）。当然，这种技术在系统建模阶段不会带来任何能量节省，这是因为扇区在这个检测评估过程中保持开启状态，只在（最终在）逻辑层面（除非在这个扇区是最好服务端的位置区域内没有其他扇区能提供合适的覆盖）被关闭。

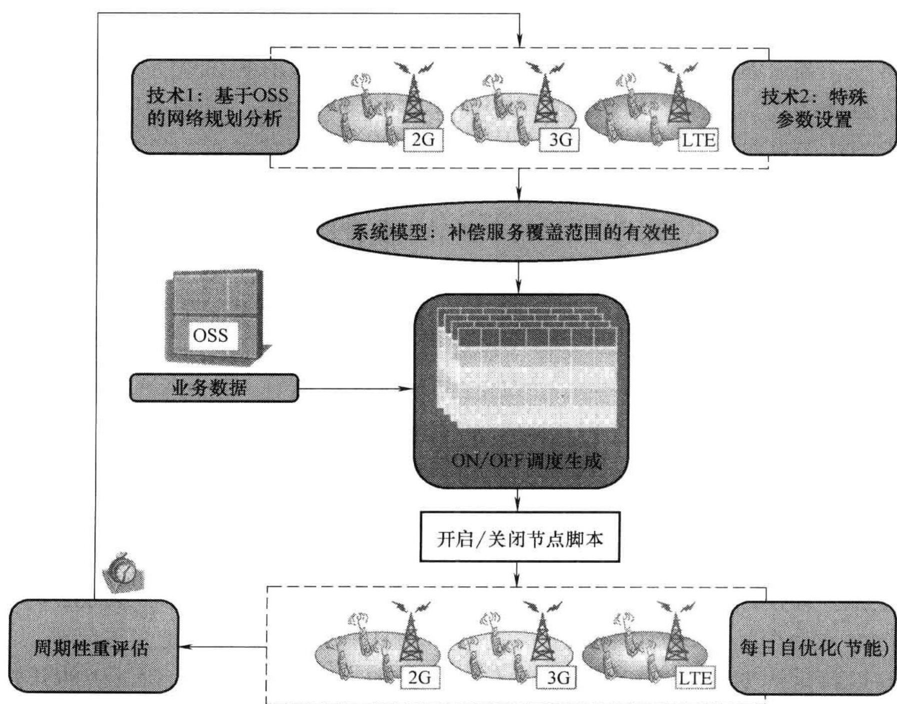


图 5.27　运行静态 ES 系统

5.12.3 动态节能

这种方法是静态节能的扩展，目的是解决因为依赖预调度列表实现基站开启/关闭而带来的一些问题。因为重新开启一个扇区要一定的时间，因此一种可行的技术方案是只关闭那些经过静态节能方法分析后认为可以关闭的扇区。然而，在某些反常业务行为下，静态方法不允许系统在调度之前重新开启被关闭的基站。

通过密切监控 OOS 统计数据的更新，这种伪实时开启的功能（任何情况下，此过程都会耗费一些时间）可以及时地被执行。以这种方式，商业区的反常业务量可在夜间被检测到（例如由于某些特殊事件），而这会触发重新开启那些原本在夜间处于关闭状态的容量站点。

然而，出于这种目的对 OSS 统计数据的利用提出下面两个限制：

1）系统的反应速度受到 OSS 统计更新周期的限制。

2）OSS 统计缺少部分信息。例如，也可以依靠 UE 的能力等级进行判断，如果有大量可用的具有 LTE 功能的活跃终端，即使有一个无拥塞问题的 UMTS 基站在服务它们，也可以由此考虑是否开启 LTE 网络（在之前的商业区夜间事件的例子中）。假如这些用户在 LTE 系统可用时会获得更好的服务质量，则会决定执行开启操作。

如果需要全实时支持和考虑更多的类似终端功能这样的细节信息，可以通过部署探针实现（基于运行在当前网络节点的额外 HW 功能模块或 SW 功能模块），探针可寻找相关接口并实时获取这些信息。另一种可选方案是 NE 使用和性能相关的报警来实现这个过程中的相互协作配合（例如，与高业务量相关的警报，或由 2G/3G 系统服务的具有 LTE 功能的移动台请求数据服务时触发的警报）。图 5.28 阐释了这种集中式闭环方案（是图 5.27 中描绘的方案的一种扩展）。

5.12.4 运营挑战

关于在现实网络中实际部署 ES 实现方案，有以下关键的运营挑战：

1）需要一个闭环自主的系统实现以确保开启命令被正确、合理地执行。为此，必须实现自动检测是否所有所需 NE 都已开启并且正确运行，如果没有，则要执行必要的重试直到问题被完全解决。

2）ES 系统应和 OSS 处的报警监控功能结合起来，从而分辨出由于 ES 操作引起的警报（例如，站点被有意断开关闭而无效等）。

3）需要其他 OSS 进程的协作，例如维护或规划，因为处于 ES 模式的 NE 不能接受重配置或检测命令。

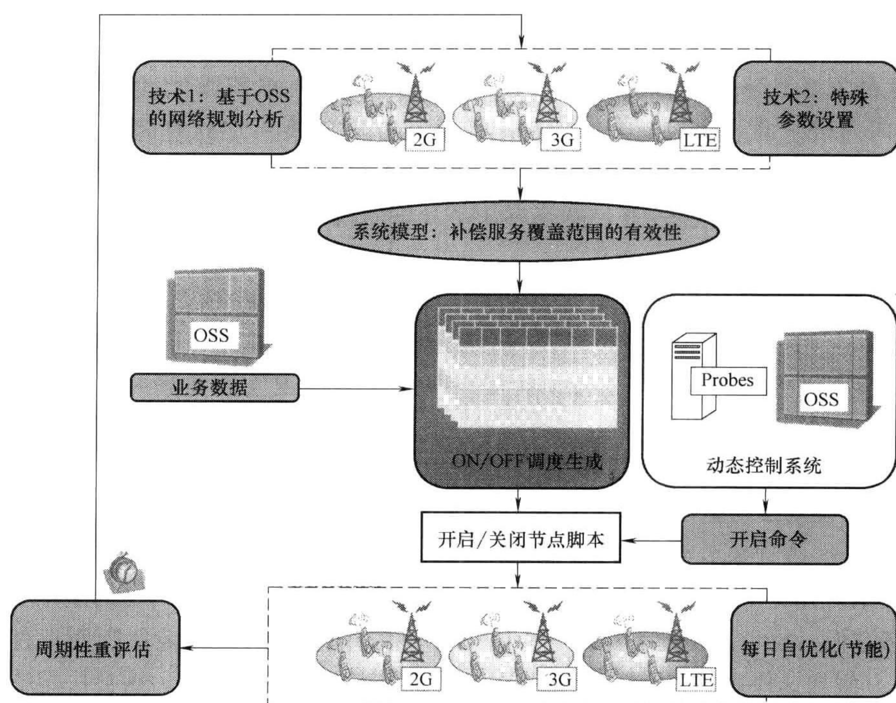


图5.28　运行动态ES系统

5.12.5　路测结果

作为运营商测试计划的一部分，需要通过分析实际网络的测试数据来评估静态ES系统的潜在优势。测试规模为一个包括4600个扇区（GSM 2100个，UMTS 2500个）的小区簇，并且扇区停用只考虑3G系统。2500个UMTS扇区中，认为只有1650个扇区可以被停用，这是因为有650个扇区为主要业务提供支持，而有不明数目的扇区不能被2G网络覆盖。在这个包含城市和农村区域的异构环境中，主要调查结果如下：

1）大概82%的能够被选择性关闭的3G扇区可以在一天的特定时间段内停用。

2）平均来讲，系统推荐3G扇区停用37%的时间，3G小区停用16%的时间，这也意味着通过这种方法可以显著地节省能量。

3）该结果（考虑了可能错误地关闭某一个扇区之后发现这个扇区需要服务特定业务的情况）的准确度大概是93%，这对于静态系统来说是可以接受的，而且当引入动态机制时将会进一步改善。

5.13 与网络管理系统共存

为了实现完全自主的运行，本章之前介绍的优化功能必须可以同移动网络中的其他管理系统进行无缝配合。这同样适用于第 4 章介绍的自配置和第 6 章介绍的自愈合功能。首先，我们将会介绍管理系统，然后讨论同 SON 功能间的相互协作。

5.13.1 网络管理系统概念和功能

3GPP 标准定义了一个管理参考模型，阐明了网络管理系统（NMS）的功能和接口，以及 O&M 系统，还有相关的其他实体（见参考文献 [46] 和图 5.29）；尽管具体实现上取决于不同的技术，但是相关的概念均适用于 2G、3G 和 LTE 系统。模型由以下方面组成：

1）NE：网络实体，为管理提供某种接口。例如 RNC 或 NodeB。

2）EM：实体管理单元（EM）提供一个或多个终端用户接口，允许对一些相互联系的 NE 进行管理。Itf-N[⊖]就是其中的一个接口，它是一个工作于网络管理系统（NMS）的标准化接口（见图 5.29）。NE 和 EM 之间的接口依赖于节点的类型和设备商，因此没被标准化。同样，EM 存储一定的数据来代表它所管理的 NE，也没有被标准化。EM 功能可能存在于 NE 本身。

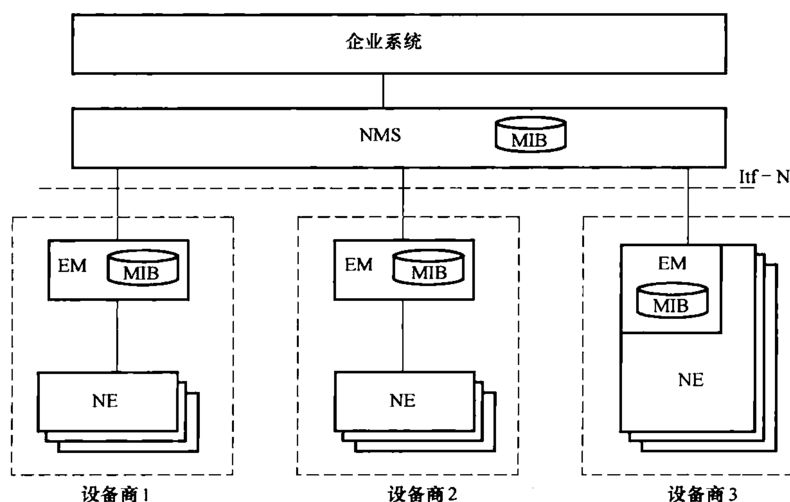


图 5.29　参考文献 [46] 中的网络管理参考模型元素和接口

⊖ 这个名字源于一个使用资源的系统层次结构中一层以上的另一层，通常在较低级别的层上（北向）描述。这一层在本节中，Itf-N 始终是指 EM 和 NMS 之间的接口。

3）NMS：负责网络管理，并提供一系列终端用户功能。这些功能建立在 EM 通过 Itf-N 或其他非标准接口提供的服务上。因为 Itf-N 已经被标准化，从架构角度考虑，建立在 Itf-N 上的 NMS 可以与采用不同设备商和技术的 EM 相连，从而提供多设备商和多无线制式之间的无缝网络管理功能。必须注意，尽管移动基础设备商提供的 O&M 解决方案包含了这里提到的系统中 EM 和 NMS 的功能，但是它们往往不能支持多设备商（即它们只支持相同设备商的移动网络管理）。NMS 的功能在本节后面详细阐述。

4）O&M 系统：这里认为 O&M、运营系统（OS）和 OSS 是等同的。O&M 系统由可用 EM 和 NMS 实体加上超出这里讨论范围的其他功能组成。移动基础设备商在提供 O&M 系统服务时，经常包含多种类型的管理软件，比如规划、优化和可视化软件等。

5）企业系统：运营商使用信息系统，但不直接或实质地与通信方面联系。企业系统的实例有呼叫中心、欺诈检测和安全防护、计费系统等。

6）管理信息库（MIB）：MIB 是用来存储在管理移动网络中所有 NE 的物理及逻辑资源时相关信息的数据库，包括它们的从属关系。MIB 通过一个由节点组成的拓扑树模拟网络。MIB 中的节点称为管理对象（MO），模拟所有 NE 或一个 NE 的逻辑可管理部分。例如，一个 MO 会把一个小区中所有和切换相关的参数放在一起。MIB 模型（即网络的概念表示）与 NMS 和 EM 中的不同（比如由于数据库性能优化而使参数标示不同）。然而，模型通过 Itf-N 被标准化（参数名称、管理对象、层级等）。例如，在参考文献［47］中，UTRAN 模型以可扩展标记语言（XML）的形式被定义，从而 EM 可通过交换正规格式化的文件为 NMS 提供有效的管理服务。

一旦 NMS 的高级定义以及它与其他实体的关系建立，为了制定如何与 SON 功能协同工作，就必须了解 NMS 的具体功能。3GPP 只初步标准化了关于 PM 的 NMS 功能，而把重点放在 NE、EM 和 Itf-N 的需求和功能上；NMS 必须支持 Itf-N，并有望为管理和使用 PM 数据提供复杂的功能。5.14 节和第 3 章（从架构观点）介绍了这些功能。

3GPP 标准[48]中描述的关于 CM 的 NMS 功能包括两类：系统监控和系统调整功能。

系统监控由信息和报告的重新获取组成。这自然意味着 NMS 中存在关于对象生成/删除、属性值变化和状态变化的事件日志。事件日志逻辑上允许 NMS 提供关于网络状态的历史信息，这意味有可能重新获得过去某一特定时间内的网络配置信息。这便于提供撤销功能，撤销功能是对于一些标准化 SON 优化功能的高级要求（参考文献［30］提供了一个自优化监控和管理的参考用例），同时它本身对于一些运营目标也具有重要意义。

第二个高级 NMS 功能是系统调整，包括 NE 的生成（如一个新节点的产生）、

删除（如删除一个节点）和调整（如改变一个节点的一些配置参数）。为了恰当地提供这些功能，NMS 必须确保在实现这些功能时网络尽可能不出现干扰；这也意味着当所执行的行为会影响服务（这种操作通常是指“离线”或“服务影响”）或者重新生成 NE（在一些情况下，改变一个配置参数需要重新生成 MIB 中的 MO）时锁定某些元素。同样，我们希望 NMS 能提供来自 EM 关于网络中执行的调整成功或失败的反馈。这使得使用 NMS 功能的系统可以在调整失败时采取必要的操作。例如，丢失关键调整需要重试或启动可选的校准措施。

正如图 5.29 中分层图所示，NMS 中的系统调整通过 Itf-N 完成。然而，NE 也提供了其他的接口支持系统调整。这些方法独立于 EM/NE 提供者，因此，与 EM 中的 MIB 数据模型紧密相关。这种设备商用来管理配置参数的特定机制的一个典型例子就是 NE 直接提供的人机语言（MML）接口。

一致性是和系统调整相关的一个重要方面。3GPP 标准[48]中讨论了 NM 和 EM 的 MIB 之间的一致性。假定 NMS 存储它自己的 MIB，确保一致性意味着 EM 的数据必须周期性地从 NMS 重新获得，同时/或者将 EM 中改变的数据报告给 NMS 并与本地 NMS 的数据进行比较。两种观点的差异主要是指是否有 MO 的存在（例如，一个小区也许存在于 NMS 的 MIB 中但不存在于 EM 的 MIB 中）或者是 MO 的状态（例如，一个给定小区的某一参数值在 EM 和 NMS 中是不同的）。那么，差异可通过将配置从 NMS 传输给 EM（如果 NMS 主导）或从 EM 传输给 NMS（如果 EM 主导）来消除，这取决于哪种系统（NMS 还是 EM）拥有主导权。

一致性也包括 EM 间的一致性。在多设备商场景中，某个网络配置的某种改变可能需要更新不同 EM 管理的另一个网络中的元素。和 HO 相关的某些参数就属于这种情况；如果一个小区中这样的一个参数改变了，该小区具有由不同的 EM 管理的邻小区，那么新的参数值就需要在另一个 EM 中进行更新。属于不同 EM 的相邻小区通常被称为“外部小区”。

而 NMS 功能范围内一致性的另一种意义是确保 NMS MIB 状态的正确性。MIB 的正确性取决于设备商或 3GPP 标准的特定原则，例如：

1）参数值必须属于允许的数值集合。例如，一个小区的小区标识符必须包含在［0，65535］范围内（3GPP 限制，实例参见参考文献［49］）。

2）不允许参数值的某些组合。类似地，特定的参数值必须遵守一致性方程（例如参数 A 必须小于参数 B）。

3）某些 MO 的范围受限（例如一个 RNC 中小区的最大数目）。

可能存在其他类型的限制。自然地，EM 会通过 Itf-N 提供服务以确认 NMS MIB 的一致性。

然而，运营商经常要求网络的配置需要满足其他一些条件，这对于 EM 是未知的；由于它是多设备商的特点，它们的逻辑位置（分层地）是 NMS。自然这些运

营商自主的规则是多种的。一些实例如下：

1）MO 生成标识符的命名规则，比如将小区标识符的惟一性添加到整个 PLMN 中。

2）拓扑限制（尤其是在邻小区规划中）。

3）允许的参数值的子集。运营商可以决定某些特定参数值能够最好地服务他们和终端用户的需求，并且在他们的网络中强制使用这些参数值（在参数默认值或参数标准值的允许范围内）。

5.13.2　其他管理系统

运营商过去一直使用多种系统以满足他们在运营网络方面的需求，并很可能将来继续使用。首先，NMS 功能会通过来自不同设备商的几个不同系统实现（特别是多设备商和多无线制式网络的情况，但不限于此）。在此之上，每个运营商使用的运营和业务模式可以通过定制的解决方案支持或者执行。这些解决方案在逻辑上可能属于 NMS 层或企业系统层，如图 5.29 所示。例如，一些存储器用来存储重要的信息数据，同时支持运营商中不同团队之间的信息交换：站点获取、硬件预配置、传输规划等。而且，随着 SON 的逐步引入，具有不同自由度的 SON 功能将与独立的规划和优化解决方案共存。再者，在多设备商和多无线制式环境中，SON 功能不会平等地部署于不同网络中，例如 4G 网络将比 2G 网络部署更多的 SON 功能。另一方面，SON 的高级需求[50]强调 SON 的架构和实现要支持运营商之间的网络共享，而且 SON 功能提供了从运营商控制到自主运行的快速过渡。这间接指出了在由多种异构实体构成的生态系统中实现 SON 功能的条件。灵活实现这些系统无缝协作对于充分利用 SON 功能具有重要意义。

5.13.3　SON 优化功能和 NMS 间的相互配合

一旦 NMS 功能确定，并且提出一簇要配合工作的外在系统，就提出了与之进行协作的 SON 自优化功能的潜在需求。重点自然要放在 NMS 的整合上，因为 5.13.2 节中讨论的系统并没有预先定义为运营商自主的。

正如本节之前解释的，NMS 的功能之一就是解决 NMS 和 EM 级的 MIB 之间的差异。NE 配置的改变（即实际网络配置）也许来自 NMS 本身或其他实体，来自 NMS 本身时只有在改变程序失败时才会引起差异。特别地，SON 优化功能会在网络中执行大量的配置改变操作。如果 SON 功能是利用 NMS 外部接口调整系统配置，并不会产生差异，而且对于设备商和运营商各自的一致性检查均可执行。然而，如果使用 EM 或 NE 接口，那么 EM 和 NMS 的 MIB 之间可能会产生差异（假定 EM 和 NE 是同步的），这需要 NMS 用户来解决这种冲突。因此，为了便于问题的解决，这些改变都应自动地告知 NMS。而且，5.13.1 节末描述的运营商自主的

一致性规则并不能被 SON 功能获取；这就意味着执行这些规则的逻辑方式是让 SON 功能利用 NMS 来执行 CM 的改变。

然而通过 NMS 执行配置改变的另一个含义是关于默认值或允许范围的一致性检查需要告知给参数所在的始发者，以确保考虑了这些限制。例如，SON 优化功能会改变小区的某些参数值，导致和参数默认值的偏差。因为 SON 功能有权利执行这种操作，一致性检查会分别提供由 SON 功能执行的参数改变和其他部分执行的参数改变的不同报告。一些需要与 NMS 协作的自优化功能例子如下：

1）ANR 管理[20]。与某些自优化功能一样，ANR 的输入不仅需要通过当前配置和统计/事件提供，还需要通过 NMS/规划提供，类似邻小区规划或“非删除”邻区列表（白名单）。

2）另一个例子是闭环周期性（如每周）RET 优化。RET 中的改变需要传输到规划工具和数据库中，从而其他把 RET 作为输入的过程（例如开环 RF 优化、包含 RF 数据的 SON 功能等）可以使用更新后的信息。在这种情况下（实际上是在大多数 SON 情况下），NMS 作为一个桥梁来确保 SON 系统内外的所有进程都可以使用实时更新的稳定数据。

3）最后，如参考文献［30］中所提，总体的 SON 优化逻辑流程包括对执行校准过程后结果的评估。如果执行校准过程后系统状态不令人满意，可能需要撤销相应操作使得将系统恢复到之前的配置，相应的操作可以从先前的配置或 NMS 的历史 CM 信息中重新获得。

5.14 多设备商自优化

如前所述，SON 技术已经在针对 LTE 网络的标准化论坛中广泛讨论。不过，大多数运营商仍会继续使用和支持包括 LTE 在内的两种或三种移动网络。因此，就像 SON 的其他技术研究一样，自优化技术的研究和应用也应当扩展到 2G 和 3G 网络中。然而，为了成为一个融合、自主的自优化的完整系统，多设备商优化系统必须克服一系列的挑战。通常来说，自优化技术的应用场景和基本原则的标准化工作主要针对的是 LTE 网络。尽管已经有大量关于 2G 和 3G 网络中自优化算法的研究，但这些初步尝试都只是来自于个别公司的努力。自优化技术的标准化研究将直接影响到下面介绍的 3 种不同领域。首先，自优化算法需要通过 KPI 来确定网络出现了什么问题以及导致这些问题的可能原因是什么。KPI 由计数器组成，而不同设备商的计数器之间有很大不同，更不必说所使用的技术不同了。大多数情况下，由某一特定设备商提供的计数器从其他设备商处是无法获得的。尤其是当计数器作为某种网络功能实体，并且这些功能实体只存在于某些设备商中或者在设备商之间有较大区别的时候，这种情况就更加明显。在其他情况下，虽然计数器是相似的，但

是在下面一个或多个方面中却会有显著不同：

1）触发点或触发事件：确切的触发点定义（即网络实体间消息流中计数器执行的那一点）可能会改变，从而导致不同设备商用来检测相同现象的 KPI（呼叫建立成功率、DCR 等）之间存在数值差异。

2）与计数器相关联的管理对象：计数器往往与设备商的管理对象结构中的一些管理对象相关联。从优化算法角度看，（计数器所应用于的）管理对象的等级越低，优化就可能越精确。

3）消息原因：尽管有很多信息项可以用于区分触发的原因，触发点仍然关联到一些特定格式的信息同时/或者关联到计时器超时。例如，服务类型、切换原因、掉话原因等。每一种原因也许都关联一个计数器，或者几种原因集中关联到一个单独的计数器，这取决于具体实现。

4）分辨率：指由计数器测量的最低时间粒度（例如在直方图计数器中）。

其次，对优化参数展开一个类似的讨论。优化不仅需要信息来诊断问题，还需要控制网络中的关键参数来执行操作。与计数器类似，优化参数在不同设备商之间也可能有较大不同，所涉及的方面与前面针对计数器的讨论相似：

1）控制网络特性的参数不同设备商会有不同。

2）分辨率。

3）控制对象粒度：从优化的观点来看，理想的（最灵活的）情况是每个管理对象的关键参数都具有独立值。然而，实际参数会有很多限制。例如，在小区级别上建议的控制一些协议的某个参数会与 RNC 相关联，这意味着所属相应 RNC 的所有小区的这个参数值都要相同。

最后，与优化技术相关的运营差异提出了一个不可忽视的挑战。网络 O&M 系统和优化功能实体间交换数据的格式存在显著差异（使用 XML 语言的基于文件的接口、基于二进制或列的格式、或者是不同方案的数据库）。而且，计数器的激活和管理必须加以考虑；限制条件存在的形式，可能是测量可以包括的网络实体的数目，或者是可以激活测量的时间，或者是 O&M 系统中历史计数器可以保存的数据量等。

这些挑战指出了三个概念上的协作或适应层的方向：运营上、语义上和算法上。运营调整统一了信息交互的格式和运营方面的处理过程，为所有数据类型提供了一个通用数据结构，可以更好地获取历史存储信息并与 O&M 系统进行交互（例如计数器激活或参数调整）。语义层将一些计数器（或 KPI）和参数转换成一组通用的、和设备商无关的输入，这些输入可由一个通用的、和设备商无关的算法进行处理。其他没有被统一的信息项，需要通过设备商自己的替代算法进行处理。在图 5.30 中对此进行了解释。

如第 3 章所述，这些协作层的存在意味着集中式 SON 结构具有调节 SON 功能

的多设备商能力。另一方面，期望语义和算法调整可以独立于具有 SON 功能的厂商，因为它们与其算法的内在逻辑紧密结合。

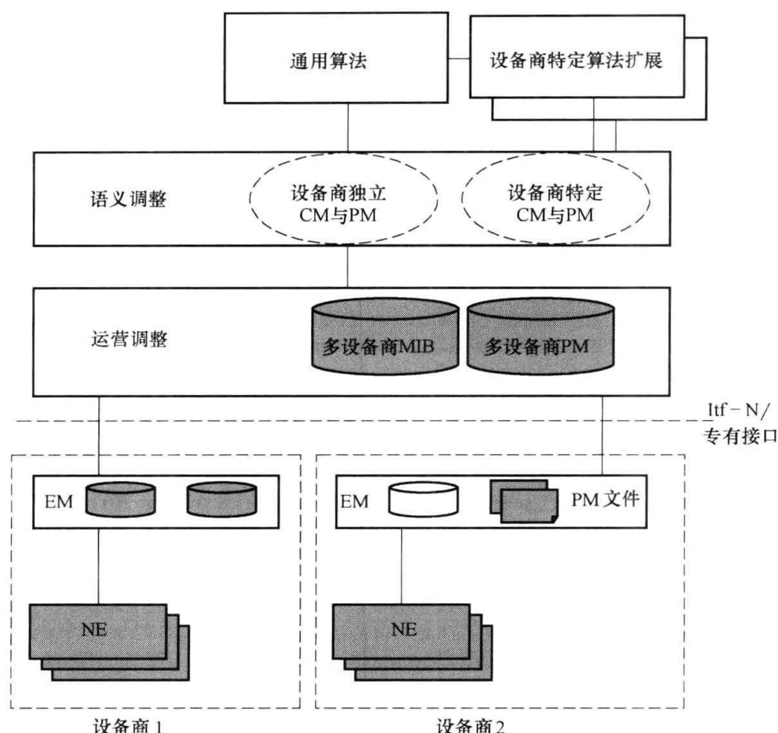


图 5.30　多厂商自优化功能块

参考文献

[1] Halonen, T., Romero, J. and Melero, J. (2002) *GSM, GPRS and EDGE Performance. Evolution Towards 3G/UMTS*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
[2] Robinson, J.B. (1949) *On the Hamiltonian Game (a Travelling-Salesman Problem)*, RAND Research Memorandum RM-303.
[3] Talbi, E.-G. (2009) *Metaheuristics: from Design to Implementation*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
[4] Glover, F.W. and Kochenberger, G.A. (2003) *Handbook of Metaheuristics*, International Series in Operations Research and Management Science, Springer, Heidelberg.
[5] Gen, M. and Cheng, R. (1997) *Genetic Algorithms and Engineering Design*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.
[6] Braspenning, P.J., Thuijsman, F. and Weijters, A.J.M.M. (1995) *Artificial Neural Networks: an Introduction to ANN Theory and Practice*, Springer, Heidelberg.
[7] Jensen, F.V. and Nielsen, T.D. (2001) *Bayesian Networks and Decision Graphs*, Springer-Verlag, Heidelberg.
[8] Gerla, G. (2001) *Fuzzy Logic: Mathematical Tools for Approximate Reasoning*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.

[9] Hata, M. and Nagatsu, T. (1980) Mobile Location Using Signal Strength Measurements in Cellular Systems, *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, **29**, pp. 245–352.

[10] COST 231 TD(91)109 (1991) *1800MHz Mobile Net Planning Based on 900MHz Measurements*, http://vbn.aau.dk/en/publications/1800-mhz-mobile-netplanning-based-on-900-mhz-measurements(09388710-a55e-11db-b8eb-000ea68e967b).html (accessed 3 June 2011).

[11] Lee, W.C.Y. (1986, 1993) *Mobile Communications Design Fundamentals*, John Wiley & Sons, Inc., Indianapolis.

[12] Kostanic, I., Guerra, I., Faour, N., Zec, J. and Susanj, M. (2003) Optimization and Application of W.C.Y Lee Micro-cell Propagation Model in 850MHz Frequency Band, *Proceedings of Wireless Networking Symposium*, Austin, TX.

[13] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010), *X2 Application Protocol (X2AP)*, 3GPP TS 36.423 Version 9.3.0, Release 9, 15 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.423/36423-930.zip (accessed 3 June 2011).

[14] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Requirements for Support of Radio Resource Management*, 3GPP TS 25.133, Version 9.5.0, Release 9, 1 October 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.133/25133-950.zip (accessed 3 June 2011).

[15] Kuri, J. and Mermelstein, P. (1999) Call admission control on the uplink of a CDMA system based on total received power, *IEEE Proc. International Conference on Communications*, pp. 1431–1436, June 1999.

[16] Kumar, S. and Nanda, S. (1999) High data-rate packet communications for cellular networks using CDMA: algorithms and performance, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **17**(3), pp. 472–492.

[17] Dziong, Z., Ming, L. and Mermelstein, P. (1996) Adaptive traffic admission for integrated services in CDMA wireless-access networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, **14** (9), pp. 1737–1747.

[18] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2008), *Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification*, 3GPP TS 25.331 Version 8.1.0, Release 8, 28 January 2008, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.331/25331-810.zip (accessed 3 June 2011).

[19] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010), *Overall Description; Stage 2*, 3GPP TS 36.300 Version 9.5.0, Release 9, 4 October 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.300/36300-950.zip (accessed 3 June 2011).

[20] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2009) *Automatic Neighbour Relation (ANR) Management; Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.511, Version 9.0.0, Release 9, 31 December 2009, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.511/32511-900.zip (accessed 3 June 2011).

[21] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2009) *Automatic Neighbour Relation (ANR) Management; Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.511, Version 8.2.0, Release 8, 12 June 2009, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.511/32511-820.zip(accessed 3 June 2011).

[22] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Overall Description; Stage 2*, 3GPP TS 36.300 Version 8.12.0, Release 8, 21 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.300/36300-8c0.zip (accessed 3 June 2011).

[23] 3GPP, RAN Plenary Meeting #48, RP-100688 (2010) *ANRF for UTRAN WI*, www.3gpp.org (accessed 3 June 2011).

[24] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *S1 Application Protocol (S1AP)*, 3GPP TS 36.413 Version 9.3.0, Release 9, 15 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.413/36413-930.zip (accessed 3 June 2011).

[25] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP): Information Service (IS)*, 3GPP TS 32.522 Version 9.1.0, Release 9, 8 October 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.522/32522-910.zip (accessed 3 June 2011).

[26] SOCRATES Project (2010) www.fp7-socrates.eu (accessed 3 June 2011).

[27] SOCRATES (2010) *Self-Optimisation and Self-Configuration in Wireless Networks*, European Research Project, http://www.fp7-socrates.eu (accessed 3 June 2011).

[28] Lobinger, A., Stefanski, S., Jansen, T. and Balan, I. (2010) Load Balancing in Downlink LTE Self-Optimizing Networks, *IEEE Proc. 71st Vehicular Technology Conference*, pp. 1–5, May 2010.

[29] Viering, I., Döttling, M. and Lobinger, A. (2009) A mathematical perspective of self-optimizing wireless networks, *IEEE International Conference on Communications 2009 (ICC)*, Dresden, Germany, June 2009.

[30] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Service and System Aspects (2010) *Self-Organizing Networks (SON) Policy Network Resource Model (NRM) Integration Reference Point (IRP);*

Requirements, 3GPP TS 32.521 Version 9.0.0, Release 9, 6 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.521/32521-900.zip (accessed 3 June 2011).

[31] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions*, 3GPP TS 36.902 Version 9.2.0, Release 9, 15 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.902/36902-920.zip (accessed 3 June 2011).

[32] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification*, 3GPP TS 36.331 Version 9.3.0, Release 9, 18 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.331/36331-930.zip (accessed 3 June 2011).

[33] 3GPP (2010) *Overview of 3GPP Release 10*, Version 0.0.7, June 2010www.3gpp.org (accessed 3 June 2011).

[34] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Layer; Measurements*, 3GPP TS 36.214 Version 9.2.0, Release 9, 14 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.214/36214-920.zip (accessed 3 June 2011).

[35] Holma, H. and Toskala, A. (eds.) (2004) *WCDMA for UMTS: Radio Access for Third Generation Mobile Communications*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.

[36] Holma, H. and Toskala, A. (eds.) (2009) *LTE for UMTS. OFDMA and SC-FDMA Based Radio Access*, John Wiley & Sons, Ltd, Chichester.

[37] Úbeda Castellanos, C., López Villa, D. Rosa, C., Pedersen, K.I., Calabrese, F.D., Michaelsen, P. and Michel, J. (2008) Performance of Uplink Fractional Power Control in UTRAN LTE, *IEEE Proc. 67th Vehicular Technology Conference*, pp. 2517–2521, May 2008.

[38] Xiangning, F., Si, C. and Xiaodong, Z. (2007) An Inter-Cell Interference Coordination Technique Based On Users' Ratio and Multi-Level Frequency Allocations, *Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2007. WiCom 2007. International Conference on*, pp.799–802, September 2007.

[39] Úbeda Castellanos, C., Calabrese, F.D., Pedersen, K.I. and Rosa, C. (2008) Uplink Interference Control in UTRAN LTE Based on the Overload Indicator, *IEEE Proc. 68th Vehicular Technology Conference*, September 2008.

[40] Optimising Power Efficiency in Mobile RAdio Networks (Opera-Net) Project (2008) http://opera-net.org (accessed 3 June 2011).

[41] Energy Aware Radio and Network Technologies (EARTH) Project (2010) https://www.ict-earth.eu (accessed 3 June 2011).

[42] European Commission's Action Plan on Energy Efficiency (2006–2020) http://ec.europa.eu/energy/efficiency/action_plan/action_plan_en.htm (accessed 3 June 2011).

[43] Viering, I., Peltomaki, M., Tirkkonen, O., Alava, M. and Waldhauser, R. (2009) A Distributed Power Saving Algorithm for Cellular Networks, *IWSOS '09 Proceedings of the 4th IFIP TC 6 International Workshop on Self-Organizing Systems*, Springer, Heidelberg.

[44] Opera-Net Project (2010) Presentation at the Celtic Event Valencia 2010, http://opera-net.org (accessed 3 June 2011).

[45] 3GPP, Technical Report, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Study on Energy Savings Management (ESM)*, 3GPP TR 32.826 Version 10.0.0, Release 10, 6 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.826/32826-a00.zip (accessed 3 June 2011).

[46] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Principles and High Level Requirements*, 3GPP TS 32.101 Version 9.1.0, Release 9, 6 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.101/32101-910.zip (accessed 3 June 2011).

[47] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2009) *Configuration Management (CM); UTRAN Network Resources Integration Reference Point (IRP): Network Resource Model (NRM)*, 3GPP TS 32.642 Version 9.0.0, Release 9, 18 December 2009, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.642/32642-900.zip (accessed 3 June 2011).

[48] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Configuration Management (CM); Concept and High-Level Requirements*, 3GPP TS 32.600 Version 10.0.0, Release 10, 18 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.600/32600-a00.zip (accessed 3 June 2011).

[49] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2000) *UTRAN Iub Interface NBAP Signalling*, 3GPP TS 25.433 Version 3.3.0, Release 99, 5 October 2000, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.433/25433-330.zip (accessed 3 June 2011).

[50] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2009) *Self-Organizing Networks (SON); Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.500 Version 9.0.0, Release 9, 31 December 2009, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.500/32500-900.zip (accessed 3 June 2011).

第6章　多无线制式的网络自愈合

Juan Ramiro、Raúl Moya、Juan Carlos del Río、Mehdi Amirijoo、Remco Litjens、Khalid Hamied、Nizay Faour、Carlos Úbeda、Gustavo Hylander 和 Javier Muñoz

6.1　2G、3G 以及 LTE 系统中的自愈合需求

正如第2章中所述，自愈合可以被定义为一种自发执行的行为，它可以保证网络的正常运行，或者防止破坏性问题的出现。在这种情况下，自愈合技术包涵了参考文献［1］中的一些与错误管理（Fault Management）、错误纠正（Fault Correction）以及运行与维护（Operation and Maintenance）有关的概念。换句话说，自愈合技术就是为了更好地进行错误检测、纠正或者减轻，同时包含了一些可以促进系统更方便地管理的技术。自愈合，这个已经被3GPP采纳了的术语看起来目标过于远大。因为在有些场合，现在的自愈合技术仅仅能够指出问题（有可能是问题的根本原因）的存在，却没有办法做到不需要人工干预而自动地找到解决问题的方案。但是，在其他情况下，我们可以做到自动地生成并执行一些可以缓解某些问题的临时方案。

用户需求不断增加导致了更新更复杂技术的部署以及多媒体和宽带业务的出现，这给那些需要用最低运营开支预算来保证最好服务质量的网络工程师带来了巨大压力，因此，在这个领域中对于自动化的需求越来越迫切。为了简化性能评估以及故障修复过程，我们非常希望下面的过程能够自动执行：①能够智能地分析性能和配置管理信息之间的联系，实时地检测当前和未来存在的问题；②诊断出这些问题的根本原因；③自动地给出解决方案。在理想情况下，自愈合技术应该包含以下特点：

1）多来源。能够利用那些自动收集起来的所有信息，比如从运营支撑系统获得的性能计数器、配置管理信息、警报、呼叫跟踪、收费记录等。

2）多厂商。具备：①接收并解释来自不同供应商的信息来源；②能够分辨来自不同基础设施厂商的产品特点；③不仅仅给出通用的解决办法，而且能够针对不同设备的管理和配置提出具体的解决方法。

3）多无线制式。能够独立或者联合所有相关的技术，这包含两层含义：①它必须能够通过全面地分析相邻两边的信息来分析异系统之间切换算法中的问题；②它必须能够利用多无线制式分析能力来检测，比如影响不同技术的常见问题（例

如小区设备的停电、技术同步失调等问题）。

4）灵活性。尽管人们希望能有一种包含了嵌入式算法的商业解决方案，但是它必须能够接纳那些已经被运营商或者策略的制定者，使用的东西。

5）可配置。它们必须为运营商提供可以配置达到问题检测过程的高层目标的算法。

6）能够触发其他网络自组织模块中的行为。作为分析结果，我们建议，比如在特定的网元中执行一种紧急的射频环境调整来暂时地解决覆盖漏洞问题。原则上，能够执行这种调整的功能可能是自优化的组成部分，大体来说，它能够通过配置来周期性地运行。既然在这种情况下我们需要一种紧急的特殊的自优化，这个过程需要通过自愈合的一部分来初始化，而它也可以为自优化地执行提供方案、策略和目标。

6.2　自愈合步骤

由于移动网络越来越复杂以及越来越多层的应用（见图 6.1），工程师们现在面临了一种挑战，他们必须在不调用更多人力资源的情况下来管理更多的关键性能指标（Key Performance Indicators，KPI）、更多的网络设置和网络功能。在这种情况下，为了降低必需的运营成本，运营商需要找到更有效的方法来找出问题的根本原因，这样才能快速地解决问题并且防止网络在将来出现问题。

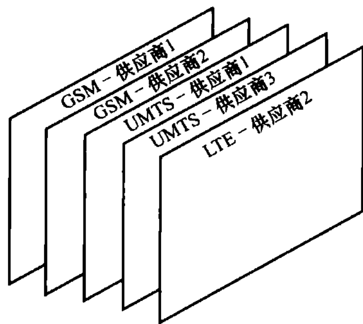


图 6.1　网络层数增长和复杂度增加

在 3GPP Release 9[3] 里提出了一种关于自愈合的技术研究，在里面给出了自愈合的整体流程，并且不同类型的系统问题所对应的愈合方法也已确定下来。此外，Release 9 还定义了三种具体的自愈合场景：网元软件的自我恢复、电路板故障的自愈合以及小区中断自愈合。

该问题的本质为几乎所有现存的已经在移动网络中研究和应用的自检测技术打开了大门。在这一部分中介绍了经典的错误管理过程，也叫故障修理（TS），如何在蜂窝网络自组织的框架下应用在自愈合过程中。自愈合过程包括下列步骤（见图 6.2）：

1）检测：检测出正在发生或将要发生的问题；

2）诊断：找出已检测出问题的根本原因；

3）愈合：找到并运用合适的方法来（全部或部分、永久或暂时）恢复服务。

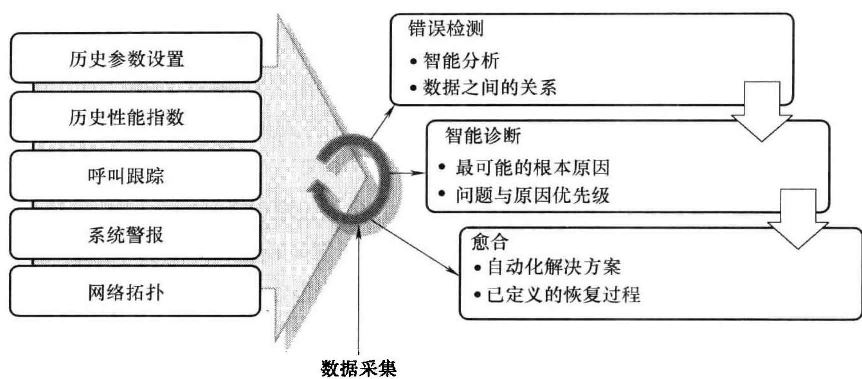


图 6.2　自愈合过程

6.2.1　检测

小区性能下降和中断会引发一些严重影响服务质量（QoS）的问题，这对网络性能有着巨大的影响。蜂窝网络中的中断严重程度可能不同，产生的原因也不一样。小区、物理信道的中断可能是由硬件或软件的故障（射频板故障、信道处理实施错误等）、停电或者网络连接错误引起的，甚至可能是因为配置错误引起的。一个自愈合系统应该能够检测出明显存在（reactive detection，被动检测）的问题，并且能够根据对已有数据趋势的分析对未来将要发生的问题进行预测（proactive detection，主动检测）。

被动检测是最简单的方法，实现起来很方便。比如可以选定一系列相关的 KPI 阈值，当一个或多个 KPI 指标不满足阈值时触发中断指示。或者可以通过将一系列的 KPI 指数加权组合成一个统一的健康指数（Health Indicator，HI）。HI 需要精心设计，避免掩盖了网络中出现的问题。例如，在某种情况下 HI 由三个 KPI（X、Y、Z）指数组成，Z 出现的严重问题可能会由于 X 和 Y 的性能优越而被掩盖。

主动检测需要对可能的输入进行更详细地分析，因为我们的目标是在问题变严重之前检测出它们的存在。这种分析是基于概率的估计，通常需要利用数据趋势（比如指标性能的下降）和以前处理类似问题的经验来预测网络将来或者一个小区将要出现明显中断前的性能。

6.2.2　诊断

在这种情形下，诊断即找到已检测出的问题发生的根本原因，这个原因是多种多样的，除了不停变化的无线网络环境外，还有可能是人为的操作失误（这将导致错误的网络配置），或者是由硬件或软件引起的设备故障。为了应对复杂的问题，在自愈合技术中应用人工智能变得很有必要。这些技术的复杂和精密程度不一

样，既有以简单规则为基础的系统应用，也有更精细的方案，比如神经网络。

6.2.3 愈合

在自愈合的三部分中，提出一种愈合方案或许是最有挑战性的。愈合措施通常都是人工执行，将自动化技术引入愈合过程中会使运营商的内部流程发生重大改变。

除了组织方面的问题外，自动地生成和执行正确的自愈合步骤也有着许多无线制式上的困难，比如需要对一系列的网元和系统接口进行兼容，同样也需要检验愈合过程的正确性。而且，给出的愈合方法中很多都不能远程执行（比如硬件替换、改变机械的天线下倾角等）。因此，即使在最理想的场景中也不太可能对所有问题都提出一种完全自动化的解决方案。

6.3 自愈合的输入

由于移动网络的动态特性和相关组成元素的特性，小区中断的原因有很多：从硬件故障到配置问题，甚至可能是由于外部因素导致的性能暂时下降，比如恶劣的天气，这种情况是不需要采取任何自愈合措施的。通常，问题的出现不是由一个孤立的原因导致，而是由很多同时发生的因素引起，这些因素之间的关系很复杂，不能简单地分开。因此，分析一个小区出现问题的原因是一项复杂、繁琐的工作，这需要考虑很多可能的原因，也需要对大量的、多样化的信息来源有所了解。如图6.2所示，这些信息可以分为5类：

1）配置管理数据，包括历史记录；
2）性能管理数据，包括历史记录；
3）错误管理或者系统警报；
4）呼叫追踪；
5）网络拓扑信息。

6.4 多层2G网络的自愈合

6.4.1 检测问题

多层天线网络中检测问题的大致流程与单无线接入网类似，参见6.2.1节。

6.4.2 诊断

对于检测问题，2G网络中的不同元素需要根据不同的层进行分析，从收发器

（TRX）到基站控制器（BSC）。根据检测出的症状，我们将分析出一系列可能的原因。这些分析包括了3个主要方面：

1）系统警报；

2）配置参数分析；

3）性能指标之间的关系。

6.4.2.1 分析2G系统警报

系统警报产生的原因很多，它反映了很多问题，比如脉冲编码调制（PCM）连接错误、高温、收发器错误等。它们通常包含了一些与引起警报的因素有关的有价值的信息，这些对分析系统警报有很大的意义。因此，自愈合功能将检测出的性能下降问题与反馈回来的系统警报联系起来。

6.4.2.2 分析2G系统配置参数

我们知道大部分的性能下降可以归咎于配置错误（比如参数设置的改变）。因此，首先要分析的就是寻找在同一区域内性能下降与近期配置改变之间的关系。

而且，我们有必要做到：①找到超出范围的参数；②进行综合的一致性校验。下面列出了一些常用的配置检查：

1. MSC/BSC 参数

1）自愈合功能应该检查由移动交换中心（MSC）定义的定时器在持续时间内的一致性。比如，一个移动用户的隐含去附着计时器必须不小于互通基站控制中心最长的周期位置更新计时器。

2）源小区和目标小区属于不同 MSC/BSC 情况下的邻区关系必须周期性地调整，这样才能使定义了目标小区的参数能够跟源 MSC/BSC 相符合。否则，将不会发生小区切换。

3）由于供应商的原因，有一些功能在小区中实现之前必须在基站控制中心实现。一个经典的例子是当时为了提高容量而在 GSM 系统中使用半速率功能，但是没有在基站控制中心里激活这个功能。结果这个功能在属于相应的基站控制中心的小区中不可用。

2. 频率规划参数

由于同信道和邻信道干扰会影响语音质量、信道性能，GSM 网络中的频率分配对用户体验有着重要影响。在自愈合功能中应用一些原则来触发相应的自优化功能，举例如下：

1）由于收发信号的干扰，同一小区的扇区不能使用相同或相邻的信道。

2）对于扇区级来说，分配给不同收发器的信道必须满足最小频谱间隔。

3）在频谱分配方面必须遵循一些基本准则，这是因为相邻小区复用信道的数量必须保证复用类型尽可能小，比如当业务信道工作时广播控制信道（BCCH）就会被抑制。

3. 邻区规划参数

1）自愈合技术必须确定一个小区不能成为自己的邻区，这样才能阻止可能导致掉话的无用交换。

2）对于一个给定的扇区，跟它属于同一小区的其他扇区必须在它的邻区列表中，因为从其他块接扇区的信号强度很高。

3）邻区关系的声明必须是对称的。比如 A 在 B 的邻区列表中，那 B 一定要在 A 的邻区列表中。

4）邻区的数量不能太少，否则会出现呼叫不能切换到最佳小区的情况。另一种情况，过多的邻区会导致过量的广播控制信道分配列表，这会给解码带来困难。

5）除非特别有必要，2G 系统中要尽量避免太多的异频邻区。在覆盖范围很广的双频网络部署中，如果为了移动性，要尽量在同一频段中进行切换，如果为了分担业务，就要尽量在不同频段中进行切换。

6）应该有一定数量的 3G 邻区来为 2G 小区分担业务。

7）离源小区太远的邻区不能成为切换的最佳目标，因此我们要删除那些离得太远的邻区。

8）以下情况需要在多宽带网络中的切换控制参数中进行验证：①切换门限和水平切换已经定义；②确保分层优先级的一致定义；③异频切换功能可用。

6.4.2.3　关联 2G 系统的性能指标

当性能下降不能归咎于某一个明显的参数配置问题时，为了找到性能下降的主要原因，自愈合系统会进行主要 KPI 的进一步分析，最好也分析问题小区的邻区。

KPI 对之间的关系为精确地诊断提供了重要信息，部分例子如下：

1）接收信号质量（RxQual）与接收信号等级（RxLev）。这两个指数的关系能使自愈合模块确定质量的下降是因为覆盖范围太差还是因为过多的干扰（如果上报的接收信号等级很高）。

2）掉话率（DCR）与接收信号质量。产生掉话的最常见的原因是缺少信号质量较好的服务基站。因此，如果在接收信号质量下降之后掉话率上升了，那我们需要一个恢复操作来提高无线频率环境。根据前面提到的信号接收质量和信号接收等级的关系，可用采取一些自优化的操作。比如优化射频配置，例如调整天线倾角或者对频率规划进行微调。

3）掉话率与切换失败率（HFR）。掉话次数的递增通常伴随着切换失败率的增长，这经常是因为最佳切换小区出现了问题。进一步分析将会检测沉睡小区或失败的收发，这些都可能导致信道拥挤或者切换堵塞。

4）掉话率与频带间业务分担。在双频带区域中，如果负载转移到无线环境比较恶劣的网络，这种频段间业务分配的变化将导致掉话率的上升。检测到这个问题后，可以采取两种恢复措施：①微调跨频段切换阈值；②优化天线电子倾角。

5）每收发器的测量报告数量与小区阻塞。对大多数基础设施供应商来说，信号接收质量和信号接收等级是通过收发器汇报的。当测量报告的数量严重下降并伴随着很高的小区阻塞时，很可能是由收发器出问题引起的。

6）（增强的）通用分组无线业务［(E)GPRS］编解码器的使用与信号接收质量。小区高速编解码器使用的减少可能是由很差的服务环境引起的，因为好的服务环境需要很高的编码保证。如果在这个场景中信号接收质量下降，那就有必要优化频率规划或者天线设置。

7）由上行信号接收质量引起的切换和定时提前。如果由上行质量导致的切换数目增加并且时间提前数据指标显示小区正在为很远的用户服务，最可能的原因是射频配置不正常。如果时间提前数据没有说明这一点，那就需要优化频率规划了。

6.4.3 愈合

一旦找到了性能下降的原因，自愈合功能需要为发现的问题提出愈合方案。提出方案的自动化程度会根据问题的特点而不同，因为并不是所有的解决方案都能在没有人为操作的情况下进行。下面列出了一些有希望解决性能下降问题的方案：

1）将参数还原到以前的配置。

2）为超出范围的参数分配一个默认值。

3）激活已经停用了的功能。

4）采取包括多小区在内复杂的方案，比如采用新的频率规划或者优化天线配置，这将会用到自优化的一些功能。

自愈合功能必须进行协作，并且利用当前的自配置和自优化的功能才能在尽可能广的范围内提出有效的、跨功能的解决方案。

6.5 多层3G网络的自愈合

6.5.1 检测问题

在此网络中检测问题的大致流程与无线接入网类似，参见6.2.1节。

6.5.2 诊断

尽管技术细节不一样，对3G系统的分析同样包括3个主要方面：

1）系统警报。

2）配置参数分析。

3）性能指标之间的相关性。

6.5.2.1 3G系统警报分析

如6.4.2.1节中所说，自愈合功能必须要考虑由管理错误产生的警报来收集所有的由故障元素（比如功率放大器、基频处理器等）引起的状况，并且利用这些信息将可能发生的性能下降与汇报的警报联系起来。

6.5.2.2 3G系统配置参数分析

跟2G系统一样，有一些应该应用在网络参数里的关键的一致性准则，这些准则可以确定潜在的问题和危险。下面列出与此相关的参数：

1. 核心网络（Core Network)/无线网络控制器（Ratio Network Controller）参数

1）计时器的一致性应该在不同的用户中检查，来确保等待时间不会因为过短而不能完成网络组成中的其他嵌套程序。这些计数器通常存储在不同的数据库里(用户计数器在CN和RNC里定义，在接入时发送给用户)，它们包括以下功能：建立连接、信道转换、空闲模式和公共信道建立过程、切换和同步。

2）如果基础设施供应商不能提供属于不同RNC的源小区和目标小区的动态同步邻区关系，邻区列表需要周期地更新来保证定义了目标小区的参数（比如地理位置、小区编号、扰码等）在源RNC里被正确配置。否则切换可能不会发生，这跟GSM系统有点类似。GSM系统RNC和相邻基站控制器之间的邻区关系里也有相似的参数，它们定义了广播控制信道、基站识别码、位置区号、小区编号等。

3）也有一些需要不停地在不同程度上激活的功能和许可，比如RNC、NodeB、小区。

2. 扰码参数

过量的主扰码复用可能会引起扰码冲突，其中一种冲突与RNC发送给用户的综合邻区列表有关。综合邻区列表是指当用户处于软切换时在激活集里的所有小区所有邻区列表的集合。在综合邻区列表里重复扰码会导致切换到错误的小区而掉话，这是因为RNC不能单独解决重复的主扰码。这种检查非常复杂，取决于软切换中允许的小区的最大数量，比如激活集的大小。如果一个邻区加入了激活集，这个邻区的所有邻区将会进行主扰码冲突检测，这种碰撞被称为二阶碰撞。实际上自愈合功能应该检查到二阶碰撞，如图6.3所示。详情请参见4.11节。

另一个可能的冲突是编码干扰，当无线电耦合时如果主扰码的复用距离太短就会发生这种情况。编码干扰对用户的影响非常大，它会使来自使用相同主扰码的小区的信号解码变得很困难。自愈合功能应该发现这种情况并且启用主扰码优化机制来解决这个问题。

3. 邻区规划参数

1）有三种不同类型的邻区：频率内、频率间、系统间。由于邻区列表在软切换中会被加入到综合邻区列表中，自愈合功能应该检查所有发送给用户的物理参数

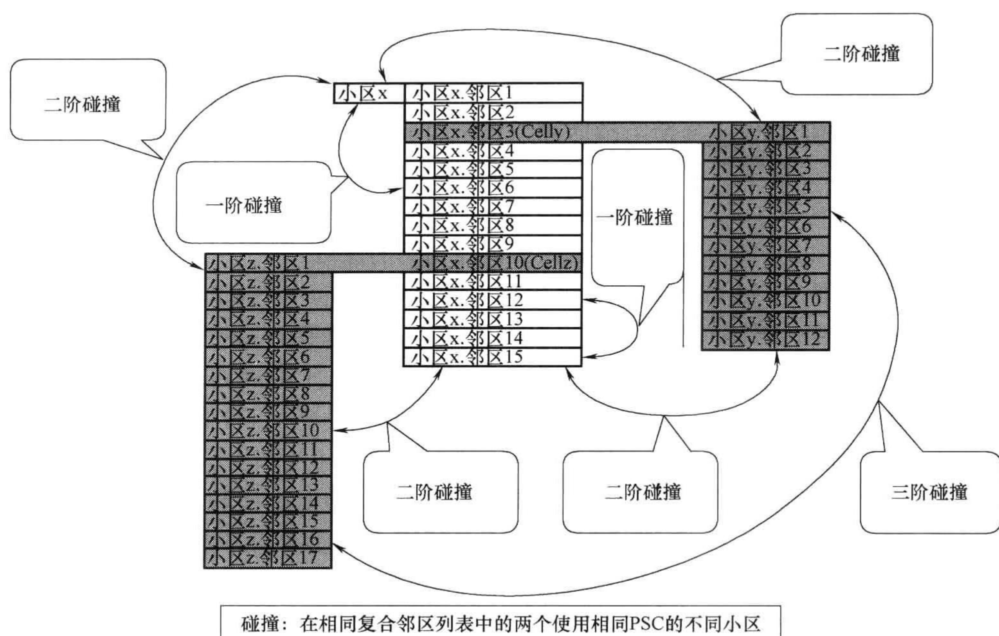


图 6.3　一阶二阶和三阶碰撞示例

的高阶碰撞来避免这种情况的发生。这些物理参数如下：

① 同频邻区的主扰码（PSC）。

② 异频邻区的 PSC-UTRA 绝对无线频率信道号对。

③ GSM 邻区的广播控制信道—基站识别码对。

2）自愈合功能需要检查同一地点的异频或者系统间邻区是否已经定义。

3）自愈合功能需要确认共站址的同频扇区定义为邻区。

4）自愈合功能需要检查邻区之间的相互作用。尽管这对小区切换不重要（因为邻区列表已经综合在一起），邻区关系最好是对称的，这是因为如果不对称，在空闲模式和使用前向接入信道时可能会由于干扰太强而造成 3G 服务中断。

5）由于网络配置，如果只用广播信道系统信息块（SIB）11[㊀]，可能只有有限的带宽来传输邻区列表和它们用来进行小区选择的参数。这意味着在实际系统中，由于带宽限制，不能对所有邻区都按照最大长度设置。因此当改变邻区列表和邻区参数时，需要确保 SIB 11 没有过载从而阻止负载增加。

6）应该有最低数量的 2G 邻区来使语音业务平衡，这样可以减轻 3G 小区的阻塞状况，也可以保证覆盖的连续性。这个规则对于在邻区间使用不同频率的（如

㊀ 系统信息块类型 11，包含空闲模式下 UE 的测量控制信息。

850MHz/900MHz 与 1900MHz/2100MHz）网络也适用。

4. 切换和小区选择参数

1）在空闲模式中，有必要确保最小的时延，这样可以阻止当用户不停移动时可能导致的不必要乒乓切换，这会引起电池损耗、网络信号或呼叫损失。这些一致性校验包括所有邻区类型，然而最重要的是那些能由于位置区域码/路由区域码变化而产生过多信号的邻区类型。在某些情况中，不仅是重选参数需要进行双方检查，也有必要对重选参数和切换进行交叉检查。因为当用到 GPRS 时，UMTS 中的分组交换呼叫使用重选参数。

2）同理，也应该对所有邻区类型进行一致性校验来检测潜在的乒乓切换问题。但与重选不同的是，不同的无线接入承载或物理信道会有不同的设置，甚至不同的参数（比如 HSDPA 可能会用一些特殊的参数来实现切换）。

6.5.2.3　3G 系统相关性能指标

与 2G 系统类似，3G 系统中 KPI 参数对之间的关系对于估计检测出的性能问题的原因有着重要价值，部分例子如下：

1）DCR/平均 CQI 与系统间业务共享。3G 网络覆盖较差的区域是那些业务分担率（分担的 3G 业务除以总业务）低于平均水平的地区。如果像 DCR 或平均 CQI（由 HSDPA 呼叫数据获得）这样的性能参数同样很差，这很有可能是由检测出的问题引起的。在这种情况下，通过公共控制信道的功率和天线倾角的覆盖范围优化必须与 iRAT 重选和切换参数调整综合起来考虑。

2）DCR/平均 CQI 与传输时延。性能不佳的另一个常见原因是小区过覆盖。为了检测这种情况，一个很好的指标是通过随机存取信道访问获得的传输时延分布。如果小区半径很大的样本很多并且性能很差（通过 DCR 或者平均 CQI 看出），很有可能是某一个小区在一些地方过覆盖，这只能通过覆盖优化来解决。

3）DCR/平均 CQI 与波段内业务共享。在双频段多载波网络中，如果业务被分配到性能较差的频段，频段内业务共享的变化很容易引起性能下降。这可以通过调整频带内切换门限或者将天线电子倾角调整回原来的角度来解决。

6.5.3　愈合

这个过程和 2G 网络中描述的过程类似（参考 6.4.3 节）。接下来将通过举例详细描述，在例子中自愈合功能模块检测到一个 3G 网络的 NodeB 节点已经停止工作，导致一个覆盖漏洞。假设保证导频覆盖是至关重要的，周围 NodeB 天线倾角的自动修改产生的影响已经阐述过了，这种愈合方法的技术原理如图 6.4 所示。

为了举例说明，图 6.5 描述了一个由 19 个 NodeB 节点（57 个扇区）组成的一个网络，天线倾角初始设置为 4°，每个扇区的最大发射功率设定为 46dBm，软切换的添加窗口大小为 3dB，噪声系数在 NodeB 端设定为 5dB，在 UE 端设定为

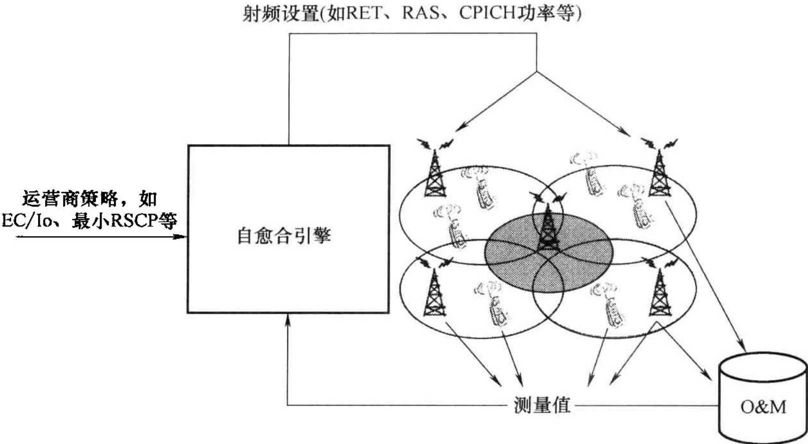


图6.4 基于射频参数调整的3G自愈合系统

10dB。对以上分析来说，提供UMTS服务的覆盖所需要的最小接收信号码元功率（RSCP）和（载干比）Ec/Io分别为-103dBm和-15dB。对于不满足这两个条件的空间位置，没有UMTS覆盖，用户将不能接入UMTS。基准场景的接收信号码功率（RSCP）覆盖如图6.5所示。

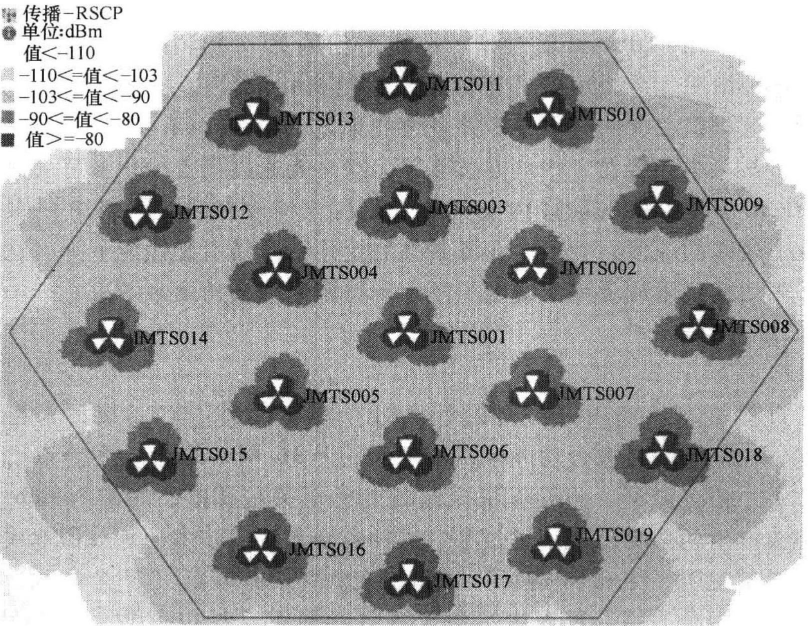


图6.5 基准场景下参考RSCP的覆盖

给定数据业务模型的需求为下行吞吐量为 512kbit/s、上行吞吐量为 64kbit/s。假定活动因子对于数据用户为 10%，对于语音用户为 50%。比特速率不满足需求的数据订阅者被丢掉，被认为是不满意用户。在图 6.5 中描述的多边形中，导频覆盖率为 98.8%，在经过 2200 个语音用户和 750 个数据用户、100 次蒙特卡洛仿真的情况下，满意数据用户为 98.8%，满意语音用户为 98.7%。当中心基站发生退服情况时，引起的 RSCP 覆盖如图 6.6 所示。

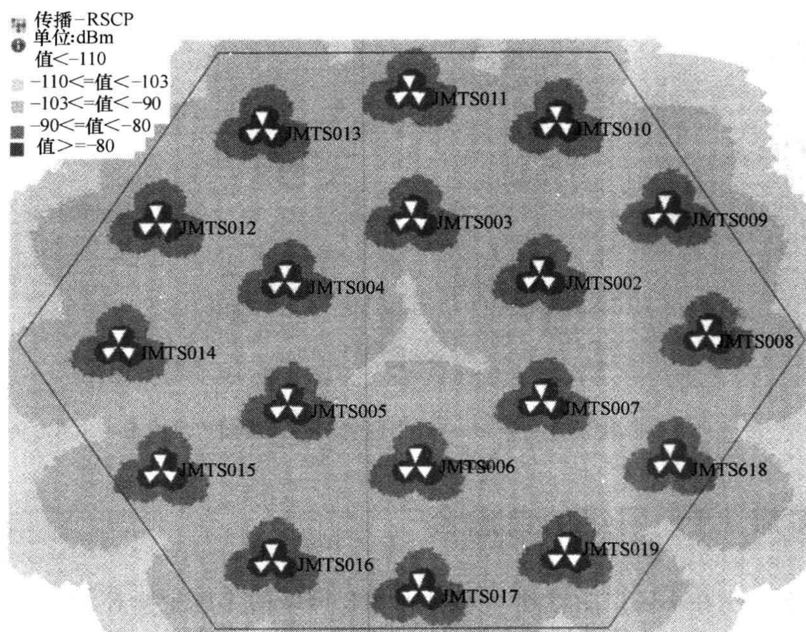


图 6.6　中心基站停用后的参考 RSCP 的覆盖

中心基站退服后，图示多边形中导频覆盖率为 97.7%，满意语音用户和满意数据用户分别为 96.9% 和 96.0%（意味着不满意语音用户和数据用户分别相对增加了 158% 和 208%）。这主要是由于一些原来被中心基站服务的位置现在由其他基站提供服务，尽管提供了足够的导频覆盖，相比于原来由中心基站提供服务的情况，现在这些位置上的无线条件出现恶化。然而，当为了有效调整周围扇区的天线倾角而应用一个自愈合功能模块时，RSCP 覆盖如图 6.7 所示。

自愈合功能模块激活后，导频覆盖率变为 98.76%，换句话说，原始的覆盖几乎完全恢复。然而，对于语音业务和数据业务来说，满意用户的百分比分别降低到 95.0% 和 94.6%（相对于出现 NodeB 发生故障不可用且不采用任何措施的情况下，不满意语音用户和数据用户分别增加了 61% 和 35%），这是以明显的质量降级来获取覆盖恢复。注意，扩展覆盖区域为用户提供低于平均无线条件的服务。

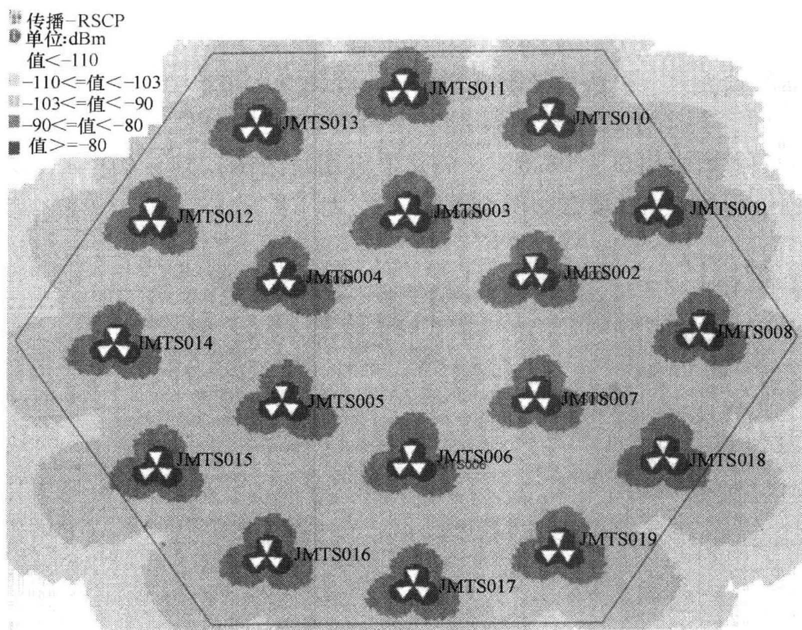


图 6.7　激活自愈合模块调整故障 eNodeB 周围基站的天线倾角后的参考 RSCP 的覆盖

6.6　多层 LTE 网络的自愈合⊖

这部分集中在小区中断管理，尤其是 LTE 网络的小区中断补偿。一些小区中断实例可能通过性能计数器或警告被 O&M 系统检测到，而其他的情况可能仍然会持续数小时甚至数天未被检测到，最后通过长时间分析或者用户投诉触发的调查被检测出来。一旦被检测到，尽管可能伴随着覆盖和容量降级的问题，对用户满意度和收益有负面影响，但是深层的问题将得到解决。

小区中断管理（COM）包括小区中断检测（COD）和小区中断补偿（COC）两部分，是 E-UTRAN 中 SON 概念的完整的一部分[2,6,7]，它的目标是增强网络的鲁棒性和恢复力。图 6.8 显示了未来蜂窝网络中小区中断管理框架中的网元和工作流。这个描述的例子是一个基站发生中断，它的中断前的服务区域标记为灰色。用户、eNodeB 节点和 O&M 中心收集各种测量数据（如警报、计数器或 KPI），并将这些数据作为 COM（包括小区中断检测和小区中断补偿）算法的输入。利用这些数据，小区中断管理函数可以自动确定中断问题的发生与否与发生范围，然后触发

⊖ 6.6 节中的工作是由欧盟委员会部分资助的，除了 6.6.4 节外，都在 FP7 SOCRATES 工程框架[5]内进行。

小区中断补偿函数和运营商的维护部门关于潜在的人工恢复动作的相关过程。为了通过调整故障基站周围小区的一个或多个控制参数（例如天线倾角或功率设定）自动缓解中断引起的性能降级，小区中断补偿函数采用相应的补偿措施。补偿措施会在运营商制定的关于不同局部和区域性的性能效果的策略中得到规定，特点是无线参数调整和性能影响评估不断迭代的过程，直到达到预期覆盖。通过所谓的 X-map 评估函数提供重要的反馈（见附录 B）。此函数为了生成如覆盖图或性能图等，处理包括位置信息在内的测量参数，随后的讨论将集中于小区中断补偿函数。

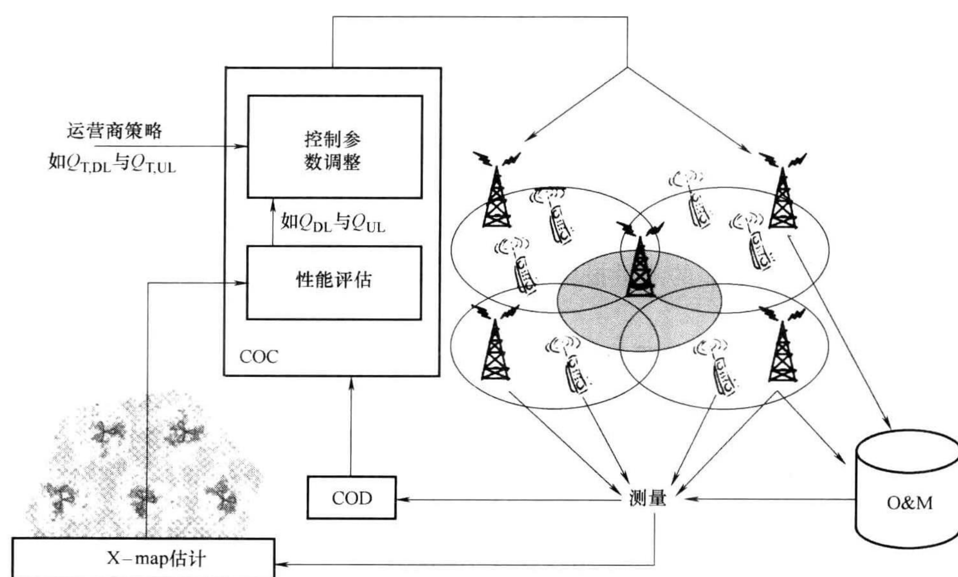


图 6.8　COM 概述

6.6.1　小区中断补偿概念

中断补偿机制的关键因素是控制参数、测量功能、运营策略和补偿算法。

原则上，从小区中断控制的角度来说，所有或多或少对覆盖和容量及服务质量的空间分布有影响的无线参数都是潜在的相关控制参数。影响较明显的控制参数包括：

1）公共信道（包括参考信号）与物理下行共享信道（承载用户数据）之间的下行功率分配：通过增加中断区域周围小区的公共信道功率，这些小区的服务范围可以被扩展到中断小区的部分或全部区域。因为对实际用户数据传输可能出现较小的功率，覆盖扩展是以减小业务承载容量和服务质量体验为代价的，强调两者之间

的平衡。

2）物理上行共享信道的目标接收功率密度（承载用户数据）：上行发射功率是由目标接收功率密度 P_0 和路径补偿因子综合得到的。P_0 的减小能够降低下行小区间的干扰水平，同时增加覆盖。这里的覆盖增益是以降低的信道速率增加小区负载为代价，因此每个用户的吞吐量会降低。

3）天线参数：现代的天线设计允许天线主瓣的方向和天线方向图自动调整，例如通过远程调整电子下倾角或波束成形技术。因为天线下倾角是一个调节小区覆盖大小的高度敏感的工具，所以在小区中断补偿中是一个预期的可选参数。

无线参数、计数器、KPI、统计参数、警报和定时器等数据的持续测量收集和分析对小区中断管理是一个不可缺少的先决条件，这些参数通过性能统计获得。这些测量可以从多种来源获得，包括 eNodeB（如小区负载、无线链路或切换失败统计、干扰水平等）、UE（如参考信号接收功率、失败报告等）和可以提供基于服务质量的 KPI 参数（如上、下行吞吐量的第十百分位）的 O&M 系统。关键的问题是如何做出实时的覆盖估计作为 COC 反馈环的一部分。在附录 B 中将更详细讨论的一个选项是基于 UE 的测量报告联合位置信息生成覆盖图（这种方法的使用后面并没有考虑）。

网络性能包含多个矛盾的方面。在最高层的抽象层次上，在影响用户体验，如覆盖、容量、服务质量的因素之间可能会有所限制。不同运营商之间一个有区别的特性是它们如何权衡投资/运营成本和网络性能之间的关系和它们期望的不同方面性能的平衡，这些都是由运营策略决定的。在下面实例中用到的一个运营策略的例子是，在满足一定的最小用户吞吐量条件下，以上、下行吞吐量的第十百分位的形式使覆盖范围最大化，即 $Q_{UL} \geqslant Q_{T,UL}$ 和 $Q_{DL} \geqslant Q_{T,DL}$，其中 $Q_{T,UL}$ 和 $Q_{T,DL}$ 分别是上、下行的需求。一个可供选择的目标可能是优化多个性能矩阵的权重和。一个运营策略可能依赖位置、时间或小区的运营状态，例如他当前是处于一个正常的运行状态还是包括一个补偿动作来解决它周围的中断。

扩展的控制性研究在参考文献［8］中，里面包括不同场景下一些控制参数的补偿潜力。研究结果表明 P_0 和天线倾角是小区中断管理中最能达到预期效果的控制参数。

6.6.2　小区中断补偿算法

一种可能性比较大的方法是在中断 eNodeB 或中断扇区的周围调整下行功率控制参数，如 P_0，来降低上行链路小区间干扰，对于中断小区功率受限的 UE 来说，就增加了信干噪比（SINR）。通过适当地减小 P_0，上行覆盖率得到提高，从而减小了中断区域的大小。另一方面，通过减小 P_0，由于对于功率不受限的用户 SINR 的降低和服务用户数量的增加，上行的服务质量降低。因此，中断小区周围的每个

小区需要不断地测量上、下行服务质量指标，例如上、下行吞吐量 10% 时，在保证上、下行服务质量指示满足特定需求的前提下，有效地最小化 P_0。更详细的描述参考参考文献［9］。

或者，也可以通过调整邻小区的天线仰角来增加故障基站周围的覆盖区域。通过减小倾角，可以以周围小区较低的服务质量为代价来增加覆盖，这是由于小区间干扰增大导致的频谱效率降低和大量的用户所致。类似地，假设不会出现高小区间干扰，并且上、下行服务质量满足特定需求，在服务质量不断测量、天线仰角减小到最大可能的范围的情况下，可以调整 P_0。

6.6.3 调整 P_0的结果

上述方法已经通过基于蒙特卡洛的 LTE 网络模拟器进行了性能评估，采用的是 19×3 的六边形小区部署。假设一个以容量为主要目标的网络部署，站间距为 500m。路径损耗通过 $128.1+37.6\log_{10}(r)$ 来计算，r 以 km 为单位。路径损耗包含一个阴影映射，它的阴影衰落去相关距离为 33m，阴影衰落标准差为 8dB。三维天线模型由参考文献［7］给出，假设初始的天线倾角为 15°，数据业务模型描述为一个上、下行吞吐量需求分别为 250kbit/s 和 1Mbit/s 的通用弹性数据服务。使用公平速率调度器在上、下行分配资源。中断用户的质量目标设为上行 $Q_{T,UL}$ = 64kbit/s，下行 $Q_{T,DL}$ = 128kbit/s。

图 6.9 和图 6.10 的结果说明的是为了缓解高负载中断引起的覆盖空洞而调整 P_0的情况。在这些仿真中，第 50 次迭代时发生一个中断，导致服务用户的减少和覆盖空洞的产生，如图 6.10 所示。更进一步，由于原来有故障 eNodeB 服务的用户现在实施小区重选接入到邻小区，引起上、下行的服务质量降低，导致更大的服务质量降级（见图 6.9）。补偿在第 100 次迭代开始，P_0开始被逐渐减小，引起上行质量的降低（见图 6.9）和覆盖服务用户数量的增加（见图 6.10）。

仿真研究表明，在以容量为主要目标的部署中，通过调整 P_0来实现自动补偿是可行的。在低负载场景下，补偿能力以覆盖增加和负载减少的形式，在低负载的场景下可以达到 85% 的用户恢复。这是有代价的，即邻小区服务质量的降低，而且服务质量降低对于高、中负载是显而易见的，与中断后不采用补偿措施相比甚至能降低 50%。这种方法也在以覆盖为主要目标、站间距为 2200m 的部署中进行了评估。然而，补偿的程度没有以容量为主的部署大。

6.6.4 天线倾角优化的性能

当故障小区停止工作产生覆盖空洞时，通过调整故障 eNodeB 邻扇区天线倾角来进行补偿被证明也是有效的。举例说明，图 6.11 描述了一个 19 eNodeB（57 扇区）的网络，初始的天线倾角设定为 4°，有效频谱为 10MHz，使用频分双工（FDD），下

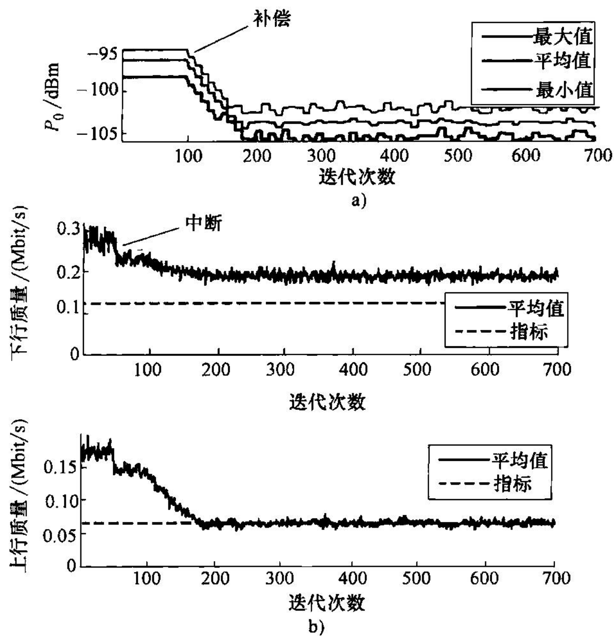


图6.9 当系统处于高负载、小区中断发生在第50次迭代、补偿初始化发生在第100次迭代时P_0调整算法的时间上分析

a）补偿小区的P_0 b）补偿小区上、下行质量的平均值

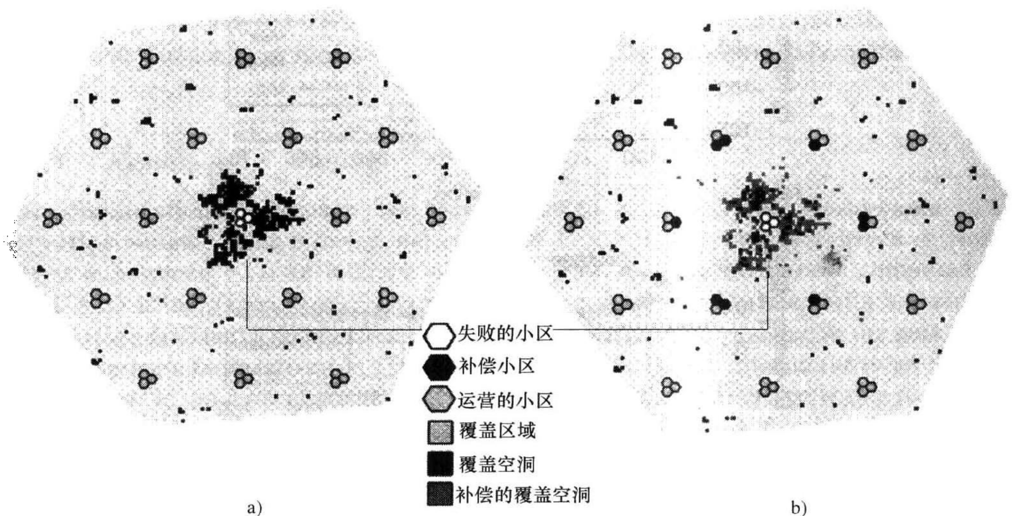


图6.10 高负载场景下的P_0调整算法

a）没有补偿的中断情况（第50~99次迭代）

b）当补偿已经覆盖时的中断情况的快照（迭代次数大于200）

行使用多输入多输出（MIMO）2×2天线，而上行使用多输入多输出（MIMO）1×2天线。用户的最大发射功率为23dBm，上行功率控制配置为 $P_0 = -100\text{dBm}$，路损补偿因子 $\alpha = 1.0$。噪声系数在用户端设定为2dB，在eNodeB端设定为10dB。对于参考信号接收功率（RSRP）和参考信号接收质量（RSRQ）的最小需求分别为 -121dBm 和 -17dB。对那些空间位置不满足这两个条件的，不存在LTE网络覆盖，用户也不能接入到LTE网络中。基准场景中RSRP的覆盖显示如图6.11所示。

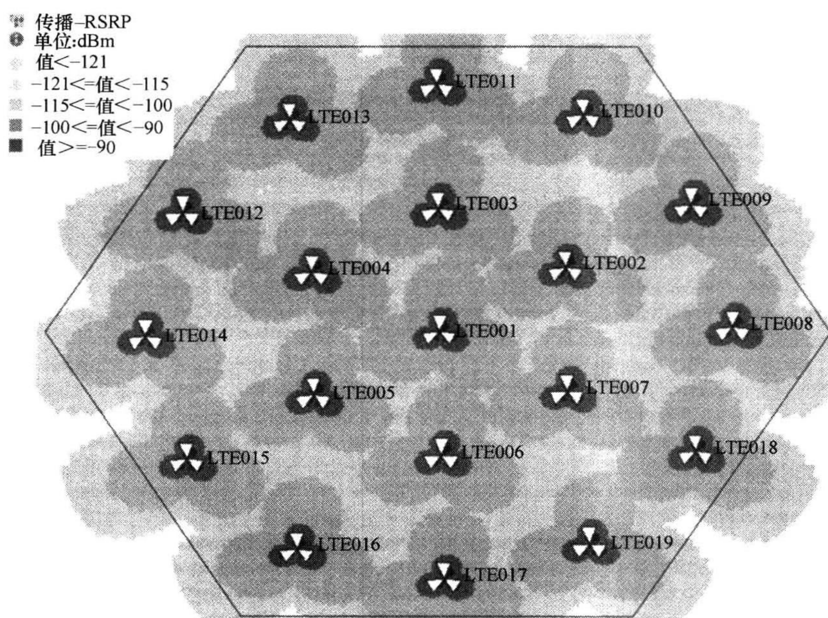


图6.11 基准场景的RSRP覆盖

给定数据业务模型的上、下行吞吐量需求分别为256kbit/s和1Mbit/s。上、下行的最小比特速率分别为64kbit/s和256kbit/s。比特速率低于最小值的用户被丢弃，被认为是不满意的。在图6.11中描述的多边形中，导频覆盖率为98.8%，仿真3000用户和100次蒙特卡洛运行，满意用户的比例为98.6%。然而，当中心基站发生故障停用时，导致的RSRP覆盖如图6.12所示。

当中心基站退服后，导频的覆盖变成了97.8%，满意用户变为了94.9%（意味着不满意用户相对增加了264%），这主要是由于一些原来被中心基站服务的位置现在被其他基站覆盖，尽管能够提供有效的导频覆盖，但是与原来由中心小区提供覆盖相比，现在的无线链路条件较差。然而，当应用自愈合功能调整天线邻小区的仰角时，RSRP覆盖如图6.13所示。

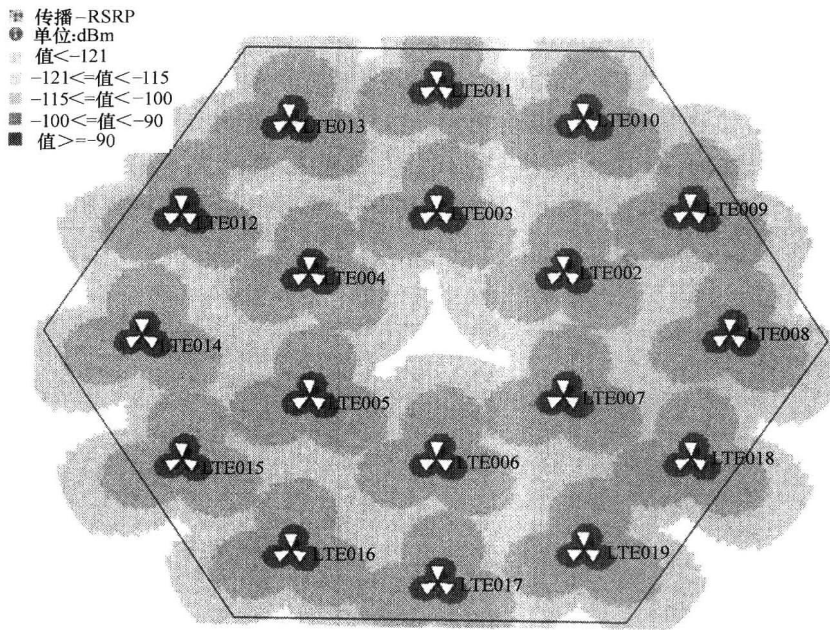


图 6.12　中心基站停用后的 RSRP 的覆盖

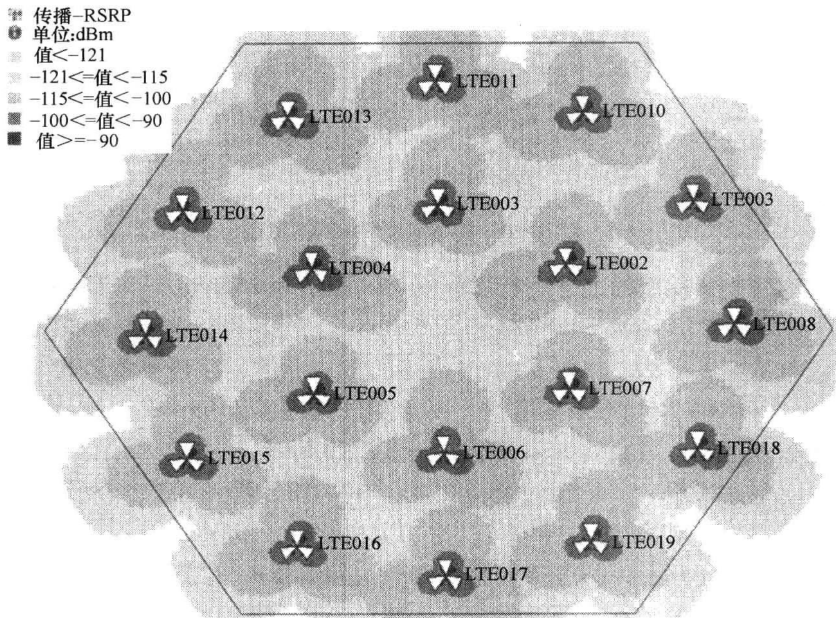


图 6.13　激活自愈合模块，调整故障 eNodeB 周围基站的天线倾角后的 RSRP 的覆盖

启动自愈合功能后，导频覆盖率变为 98.8%，换句话说，原来的覆盖全部恢复。然而，满意用户的比例进一步减少为 91.7%（意味着相对于出现故障 eNodeB 但是没有采取任何措施的情况下，不满意用户增加了 63%），这说明与预期一样，覆盖恢复是以明确的质量下降为代价的。注意，覆盖扩展区域为用户提供低于平均水平的无线链路条件。

6.7 多厂商自愈合

网络设备是由多个不同的基础设施供应商提供的，这一事实增加了有效自愈合功能定义的复杂性。像本书中已经提到的那样，SON 的标准化主要针对于 LTE，这意味着在 GSM 和 UMTS 的情况下，需要开发专用的接口去处理各种网元，监测性能，决定需要的调整行为和如何实现它们。在 SON 中与详细的多供应商支持相关的需求例子是非常多的。缩小自愈合的范围，下面提供了一些不完全的例子：

1）每一种供应商装置提供一种不同的设定特定配置参数值的颗粒度。例如，一些供应商功率相关参数的调整，如应用 0.1dB 的步长调整 CPICH，其他信道则允许 0.5dB 的步长。

2）有些供应商提供对于特定网络事件（如掉话原因、差的信道质量、差的信号水平等）的计数器，这促进了导致问题的最可能原因的确认，因此提供了愈合过程的有效性。不幸的是，大部分供应商不提供类似的计数器。

3）当识别出 UMTS 小区的覆盖范围不正常时，物理随机接入信道（PRACH）的传播延迟测量是最重要的。然而在一些供应商设备中，这些测量在 OSS 性能计数器的集合中并不可用，必须依靠处理装置的额外收集，借助呼叫跟踪来获取。

4）当考虑到特定的恢复行为时，有一个事实必须考虑到，即一些供应商是通过配置网元的强制重启完成的。在这些情况下，自愈合功能将在对服务影响最小的时间窗口（例如，在夜间）实现更改（依赖于检测到问题的复杂度，如运营商是否可以承担等待带来的后果）。

这些例子更清楚地说明了多供应商的支持和灵活性对于自愈合模块来说是一个关键需求，它需要以不同的格式读入信息，考虑供应商特定的功能实现，完成分析诊断，生成的调整动作必须与装置和不同设备供应商提供的设备的限制一致。

参考文献

[1] Next Generation Mobile Networks (NGMN) Alliance, Requirement Specification (2008) *NGMN Recommendation on SON and O&M Requirements*, Version 1.23, December 2008, www.ngmn.org (accessed 3 June 2011).

[2] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Services and System Aspects (2010) *Self-healing Concepts and Requirements*, 3GPP TS 32.541 Version 1.4.0, Release 10, 6 August 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.541/32541-140.zip (accessed 3 June 2011).

[3] 3GPP, Technical Report, Technical Specification Group Service and System Aspects (2009) *Study on Self-Healing*, 3GPP TR 32.823 Version 9.0.0, Release 9, 1 October 2009, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/32_series/32.823/32823-900.zip (accessed 3 June 2011).

[4] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2008) *Radio Resource Control (RRC); Protocol Specification*, 3GPP TS 25.331 Version 8.1.0, Release 8, 28 January 2008, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.331/25331-810.zip (accessed 3 June 2011).

[5] SOCRATES Project (2010) www.fp7-socrates.eu (accessed 3 June 2011).

[6] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010), *Self-Configuring and Self-Optimizing Network (SON) Use Cases and Solutions*, 3GPP TS 36.902 Version 9.2.0, Release 9, 15 June 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.902/36902-920.zip (accessed 3 June 2011).

[7] Amirijoo, M., Jorguseski, L., Kürner, T., Litjens, R., Neuland, M., Schmelz, L.C. and Türke, U. (2009) Cell Outage Management in LTE Networks, *Proceedings of ISWCS '09*, Siena, Italy.

[8] Amirijoo, M., Jorguseski, L., Litjens, R. and Nascimento, R. (2011) Effectiveness of Cell Outage Compensation in LTE Networks, *Proceedings of CCNC 2011*, Las Vegas, USA.

[9] Amirijoo, M., Jorguseski, L., Litjens, R., and Schmelz, L.C. (2011) Cell Outage Compensation in LTE Networks: Algorithms and Performance Assessment, *International Workshop on Self-Organizing Networks (IWSON)*, Budapest, Hungary.

第 7 章　多无线制式网络自组织的投资回报率

Juan Ramiro、Mark Austin 和 Khalid Hamied

7.1　网络自组织技术的效益综述

具有移动宽带连接功能的智能手机和笔记本电脑爆炸性地增长，市场渗透率急剧增加，但也导致了严峻的挑战：网络吞吐量仍以极高的速度增长，而每用户平均收益（ARPU）已达到饱和。在这样的背景下，从经济学角度看，网络自组织管理主要是作为一种促进移动宽带服务应用的机制而提出的，这是无线运营商都乐于面对的。SON 的主要优点总结在图 7.1 中。

如图 7.1 所示，营运成本（OPEX）的节约主要依靠自动化，这也正是 SON 的关键所在。然而，正如随后将提到的，并不是所有自动化措施都会自然而然带来经济效益。只有对那些在不使用 SON 时需要人工完成的任务进行自动化操作，才能带来效益。换句话说，引入新的自动化任务，不会有隐含的运营成本节约。其他能节约运营成本的方式有：提高能效、减少所需租用资源（例如传输线），这些通常可以通过资源的优化使用来实现。

SON 带来的另一个关键效益是：节约资本支出（CAPEX），这可以通过更精确

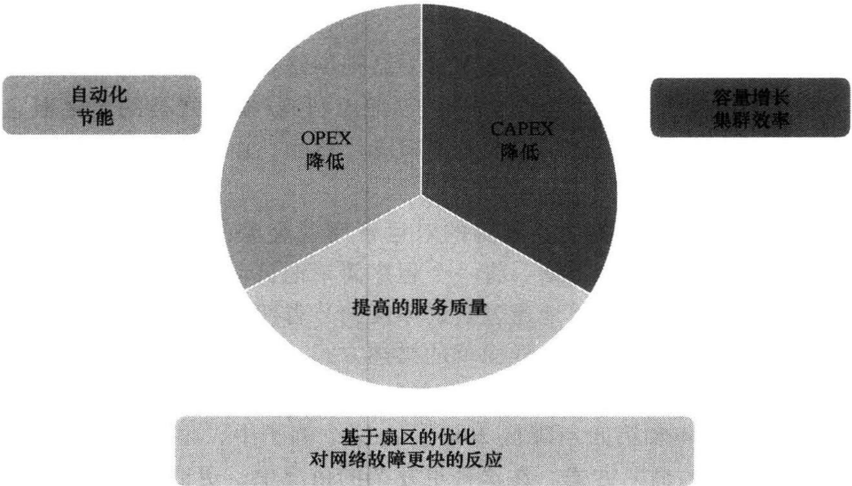


图 7.1　多无线制式网络自组织的效益

的容量规划方法和增加现有网络基础设施的有效容量来实现。该容量增长允许运营商延迟并（或）减少昂贵的扩容建设，其实现方法是按照每个网络单元的不同情况进行自动调整和优化，如物理定位、射频配置、软参数等。无线网络是非常复杂的系统，而且众所周知，在设计和运营无线网络时，其容量、覆盖范围、通信质量等目标通常是相互制约的。因此，从可行性出发，当下讨论的容量增强技术只有在保证合适的覆盖范围和通信质量的同时进行容量增强，这才被认为是有益的。

此外，使用网络自组织技术的另一个主要效益来自服务质量（QoS）的提高，这主要有两个原因。首先，自规划和自优化技术的使用保证了网络能一直按照要求的服务质量传输，同时保持合理的运营成本，而这通过人工网络维护操作是很难实现的；第二，引入自愈合技术可以缩短解决网络故障的时间，或者至少弥补网络故障的后果。最后，质量的改善会提高用户忠诚度和满意度，从而减少客户退出，并给运营商的未计利、税、折旧摊销前利润（EBITDA）带来直接的正面影响（见图7.2）。

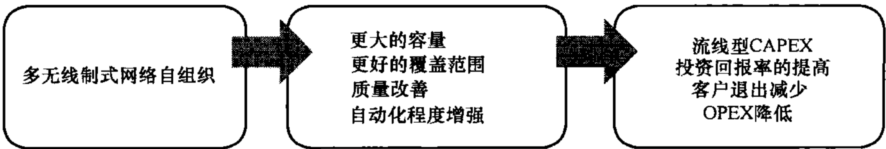


图 7.2　从技术上的效益到经济上的效益

7.2　计算投资回报率的通用模型

为了评估运营商在其不同层网络部署一系列网络自组织功能的经济效益，一个可靠的方法是看它对公司现金流的影响，不考虑利润/损失之类的金融概念，仅仅关注现金的计算。此外，讨论中涉及税制概念。然而，由于国别不同，在此次一般性分析中不考虑税制。

在引入一系列 SON 功能时，测得的对运营商现金流的影响很可能是好几年的总体效果。对于某些情况，例如，将一个程序简单地自动化，并且伴随有明显而稳定的运营成本节约，可以简单地通过查询年度的节省额来描述这个效益。然而，其他情况中，不能很轻松地找出这样简单的描述方式，需要采用更复杂的方法。举例来说，我们假设由于使用了 SON 功能，第一年所需新的 CAPEX 降低了 40%，第二年降低 30%，第三年和第四年降低 20%。在这个例子中，很明显仅仅计算年度节省额度不再是直观的描述方式。在这种更复杂的情况中，更恰当的方法是去计算现金流（CF）的净现值（NPV），这在很大程度上直接和 SON 相关。这种方法经常被用在需要考虑资本时间价值的长期项目评估中，其操作如下：

$$\mathrm{NPV} = \sum_{n=1}^{\infty} \mathrm{CF}_n \frac{1}{(1+r)^n} \tag{7.1}$$

式中　CF_n——第 n 年（以一整年为评估期，并在年末测量其大小）的微分现金流（也就是用收入现金流减去支出现金流，且只考虑由 SON 直接导致的那部分）；

r——贴现率，也就是投资者对回报率的典型期望，其值来源于一个与当下评估的项目风险预测类似的项目。

原则上讲，求和应该在无限的时间域进行。然而，事实上，这样做既不可行也不重要，因为当 n 值很大时（也就是很多年后的将来），由于 CF_n所乘系数的负指数特性［见式（7.1）］，它对最后结果没有太大的影响。

每一年，微分现金流都被当作由于某系列 SON 功能的部署，运营商将在年末获得的额外现金净额（正的或负的）来计算。这个量的典型成分包括：①优异的质量及其带来的客户退出减少所产生的额外收益；②将引入 SON 前需要人工完成的工作自动化所带来的 OPEX 的降低。③更好的资源利用和随之而来所需租用传输线路的减少，能降低 OPEX；④仔细的自适应优化带来的容量提升，使得新增 CAPEX 更少；⑤更合理和准确的新增 CAPEX 的决策过程。

可见，由于描述 NPV 计算公式的指数特性，仅是延迟对新增 CAPEX 的需要，就给运营商带来了利润。假设这样一个简单的示例场景：第 1 ~ 5 年的新增 CAPEX 预计为［100，100，0，0，0］百万欧元（在每年结束时测得，见图 7.3）。如果使用 SON 技术使得所需新增资金都延迟一年，则 CAPEX 预计为［0，100，100，0，0］百万欧元。此例中，由于使用了 SON 技术，第 1 ~ 5 年的微分现金流为［100，0，-100，0，0］百万欧元，然而这些不同年度的微分现金流值不是仅仅相互抵消的，因为它们每一个都会乘以不同的基于时间的系数，因此这些系数会降低 n 较大时微分现金流的相对权重。也就是减少未来的基建投资的相对权重（见图 7.3）。若贴现率为 20%，该延时带来的 NPV 是 2500 万欧元。

	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年
未引入SON时的CAPEX预算(百万欧元)	100	100	0	0	0
引入SON后的CAPEX预算(百万欧元)	0	100	100	0	0
SON带来的微分现金流(百万欧元)	100	0	-100	0	0
NPV(百万欧元)	25				
贴现率(%)	20				

图 7.3　延迟对新增 CAPEX 的需要对微分现金流和净现值的影响

到目前为止所介绍的计算结果都没有考虑实施 SON 方案的成本。为了计算购买和部署 SON 方案将给运营商带来的实际利益，成本费用应该从 NPV 的预期效益中扣除。注意这样一个简单的计算（也就是从 NPV 的预期效益中扣除方案成本）

意味着方案在评估刚开始的时候就已经被购买（并支付）了，并且相关的效益是用年同比评估的，从第一年年底的第一次计算开始就这样了。而如果方案成本是分期支付的，在计算中就应该考虑这点，因为这样运营商的微分现金流就不同了。类似地，通过增加分析的解析度可以获得更高的精确性，例如考虑每月的情况，而不是每年的。

投资回报率（ROI）的另一个直观指标是还本期，定义为方案收回成本所需时间。这个方法更简单而且不包括风险或价值折旧的因素。在每个时间节点，累积现金流的计算只是简单地将所经历时间的所有微分现金流相加。当这个值等于部署方案花费的成本时，所经历的时间就是回收期（参见图 7.4 中的例子）。

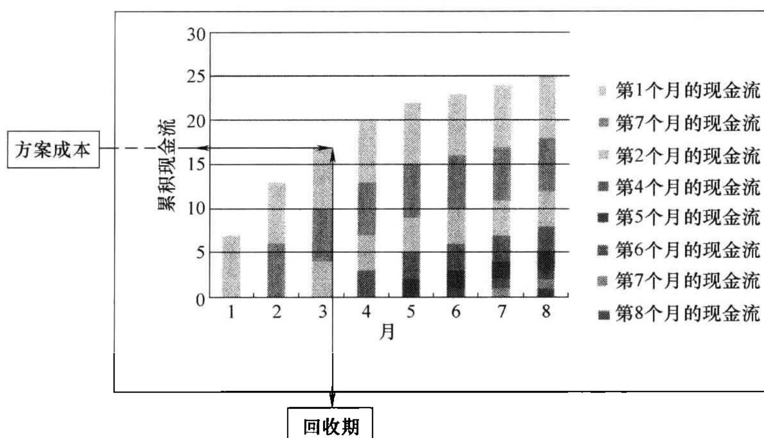


图 7.4　回收期

7.3　案例研究：自规划的 ROI

本节的内容安排如下：7.3.1 节将介绍自规划的两种备选范围，并且重点关注容量自规划过程，这将在 7.3.2 节中详细介绍，并且会在 7.3.3 节中进行建模。对于提出模型一个有意义的应用就是，需要对每一个扇区的业务有一个通用的数学表达式，以此来考虑整个网络的异构业务量，这将对估算容量扩展需求有直接的影响。7.3.4 节将提出这个模型，7.3.5 节将介绍将此模型应用到实际网络中估算容量需求，这个过程是依据初始配置、每个扇区的业务分布以及预测的业务增长来实现的。基于上述模型的应用，7.3.6 节和 7.3.7 节将分别介绍有 SON 功能和没有 SON 功能两种情况下的计算年度 CAPEX 和 OPEX 的方法。最后，提出一个具体的样本方案，并且应用提出的模型来计算自规划过程的投资回报率，并且还计算其对于关键输入参数值以及假设条件的敏感度。图 7.5 总结了上述模式以一种联合的方

式应用到计算 ROI 的方法。

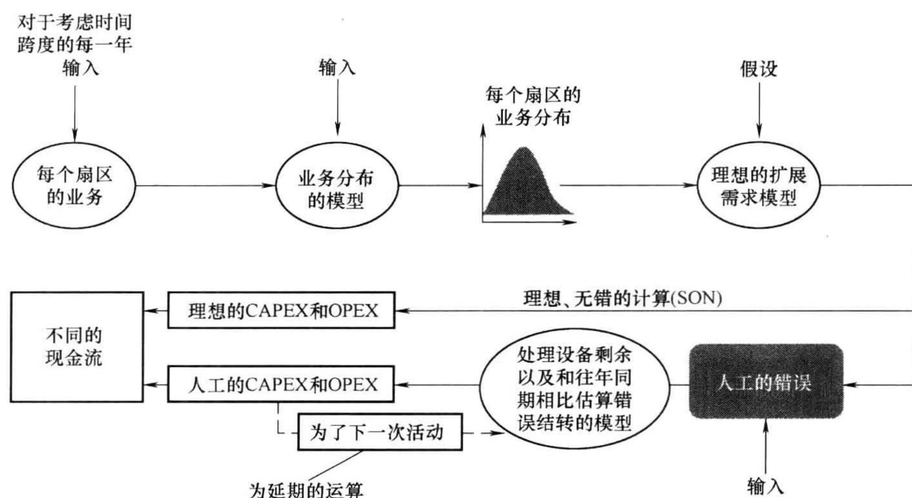


图 7.5　总结计算自规划 CAPEX 和 OPEX 成分的过程

7.3.1　自规划范围和 ROI 成分

即使没有 SON，蜂窝网运营商也要规划他们的网络。因此，对于自规划，考虑由于规划任务的自动化导致的 OPEX 节省是非常合理的，因为这些开支以前是需要的，而 SON 功能的部署将消除或者减少这些开支。这同样适用于由于减少伙伴导致的额外收入，因为现金流的真正区别完全是由于引进了 SON。

在系统地阐述计算之前，首先应把自规划技术导致的 CAPEX 节省的本质分成两个主要的方面：

1）自规划功能实质上是如何做出合适的决定，以此来确定部署硬件设施、网络元素以及传输链路的数量（无论它们是作为 CAPEX 而购买的，还是作为 OPEX 而租赁的）。其中，一个具有说明性的例子就是自动容量规划过程，这个过程能够让运营商在容量扩充方面做出及时且正确的决定，也就是额外部署 3G 载波收发器，在 Iub 接口上激活 EL 链路，从而应对预测到的业务增长。

2）自规划功能，举例说明，得自新加入基站的天线设置（例如倾角）。在这种情况下，自规划的优点可以在最后网络容量提升方面得以体现，也就是在相同的硬件设备情况下，网络可以承载更多的业务。很显然，这隐含地预示了未来对于硬件设备的扩充需求，以此来应对业务的增长。目前基础设施越是有更高效率的容量，则未来对于容量的扩充需求就越小，这对于不同现金流的 CAPEX 贡献有很大的影响。

这部分的分析重点关注容量自规划，这也正是第一组所举的例子，因为第二部

分涉及的动力学和分析自优化 ROI 时的部分是很相似的，讨论自优化 ROI 时将会广泛讲解这部分内容。

7.3.2 自动容量规划

全球移动通信系统（UMTS）或者高速分组接入（HSPA）网络的具体容量规划流程如图 7.6 所示，第 4 章对相关细节做了详细介绍。



图 7.6　容量扩充的自规划流程

在对系统模式校准使其和运营支撑系统（OSS）中的信息完全一致后，开始业务预测。这个过程需要与现有的历史数据一致，并且还具有周期性的趋势以及计划任务的影响，例如新服务或者破坏性营销活动的启动。基于这个过程，预测的瓶颈就具有相应的特征，也就是 SON 功能鉴定出什么地点、什么时候需要扩充容量从而来处理预测到的由于 QoS 需求提高所产生的业务增长。为了确保评估的准确性，根据当前网络性能，对今天业务水平的初始校准是最重要的，因为如果不这样的话，根据不切实际的理论假设可能会带有倾向性。

在这个例子中，考虑到的容量扩充行为有：①在认为会过载的扇区有额外的载波增加；②在认为会引起拥塞或者高延时的 Iub 中，通过增加 E1 链路来进行带宽扩充。以高度反应的方式实现这个过程（几乎）可以得到很好的精确度，但这却是以预测太少从而导致 QoS 减小为代价的，这就可以使得在问题明确时开始正确的行为。然而，一种更加可取的主动模式是，提前对容量进行扩充，因为这样可以得到更加准确的预算并且避免了前面提到了 QoS 的减少。

7.3.3 自动容量规划的 SON 模型化

根据评估的 SON 功能，就是进行标准的业务预测，并估算出什么时间、什么地点需要对容量进行扩充。通过自动化除了会有明显的 OPEX 节省，这个功能还会通过一种更加精确的容量规划过程带来巨大的 CAPEX 节省。因此，为了量化这些优点，将自动过程相对于传统人工计算的准确度特征化是非常重要的。在这方面，SON 过程被假设为是最好的，也就是无错的，与之相反，人工的动作会包含隐藏的错误，这些错误将会在本部分剩下的内容中进行讨论。

聪明的无线运营商们做过的外场测试表明，在一些场景中，经过分析后的人工执行过程导致过高估计的概率（o）高达 42%，然而过低估计的概率（u）保持在 2% 左右。这也就意味着，在这种情况下，如果工程师需要人工估算网络中需要增

加部署的容量，这个数字会由于估算错误导致抬高 42%。同时，由于人工估计过程的错误，在网络的一些部分会由于部署不当导致闲置的容量，同时也会在网络的某些部分很明显存在容量不足的问题。在外场测试中，网络中由于过低估计导致的容量不足占所有容量需求的 2% 左右。

在实际中，这种过高估计不会无限地继续，因为运营商的工程师们会很明显地发现并且纠正这种情形。简单起见，采用以下的这些假设来分析每年导致容量过剩的人工估计过程以及其导致的错误：

1）每年只进行一次容量规划，并且只在每年的开始进行一次。

2）所有过低估计的项在接下来的一年都是通过人工检测并进行修正的，具体为通过增加必需的容量扩充（由于经历过的业务增加导致的额外需求）。纠正第 i 年由于过低估计的错误需要在第 $i+1$ 年的容量规划过程中完成。由于这种特别的补偿过程是起反作用的，因此认为这个过程是完全准确的，即使这是由人工来完成的。

3）所有过高估计的项会造成容量过剩，这些容量过剩将会逐渐被消耗，因为后来的业务增加需要额外的容量。直到容量剩余被消耗完之前，是不需要支出附加费用的。简单起见，假设设备重新定位是完全灵活的，这也就意味着在没有额外花费的情况下，可以消耗容量剩余来满足由于过低估计导致的更大容量扩充需求以及人工补偿。然而实际情况并非如此，因为设备重新定位需要成本，这种影响并不在考虑范围内。

7.3.4 业务特点简介

7.3.4.1 业务分布

业务概况是计算 ROI 的一个重要信息。计算自规划功能的 ROI 时，会考虑两种类型的业务（基于 UMTS Release 99 版本的语音通信，以及基于高速下行分组接入 HSDPA 的数据通信）。对于这两种业务的每一种，应该仔细考虑两个属性：①忙时每个扇区平均业务的短暂变化；②忙时网络中每个扇区的业务分布。

第一个属性是这个过程的一个关键输入，这是通过业务预测得到的，业务预测过程中同时考虑到了运营商的商业计划。第二个属性需要用来模拟网络并不是均匀负载的事实。分析忙时每个扇区的业务分布时，真实网络的结果表明，这是可以通过一个 Gamma 函数来表示的，这个函数中标准偏差和平均值是大致成比例的（尽管每个网络的值大小是不同的）。Gamma 函数如下：

$$f(x)=x^{k-1}\frac{\exp(-x/\theta)}{\Gamma(k)\theta^{k}} \tag{7.2}$$

式中　Γ——Gamma 函数；

θ 和 k——通过以下式子从期望均值和标准差中得到：

$$\theta=\frac{\mathrm{Var}(x)}{E(x)} \tag{7.3}$$

$$k=\frac{E(x)}{\theta} \tag{7.4}$$

图 7.7 描述了每个扇区的业务分布，这是通过对商用网络的两个不同时间 1h 内测试得到的，同时图中还有利用 Gamma 函数模拟出的分布，它采用每个扇区业务的平均值和标准差作为一个输入。

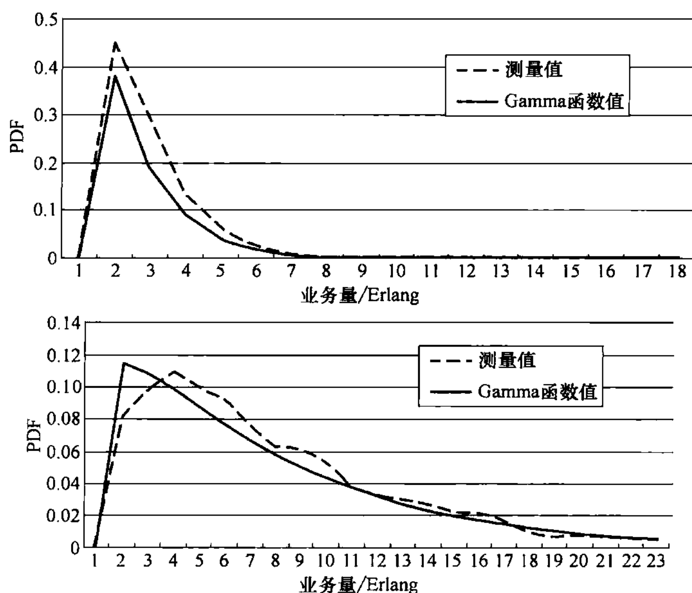


图 7.7　一天内两个时段每个扇区的负载分布

（上图：9：00～10：00；下图：14：00～15：00）

图 7.8 描述了一天中不同时刻的 1h 内，每个扇区业务量的平均值和标准差的关系，结果表明标准差随着平均值以大致正比的关系增加（以 θ 描述）。

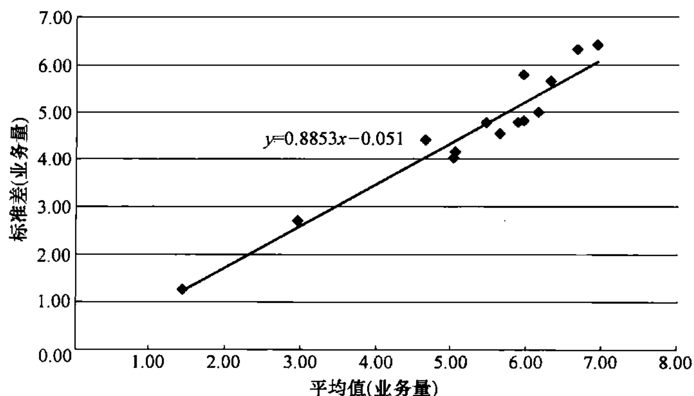


图 7.8　每个扇区业务的平均值和标准偏差的关系

7.3.4.2　结合语音和数据的业务

由于现实的运营网络是语音业务和数据业务的结合，结合的两者都需要处理，以此来计算无线接口和 E1 链路中聚合的、标准化的业务。评估容量扩充需求时，可以认为每个扇区通过一个载波可以服务的最大标准化业务是 100 个“标准化载波业务单位”（两个载波为 200，三个载波为 300，以此类推）。尽管可以做更多的保守估计，例如假设每个载波（从无线角度）的最大业务是 80 或者 90 个标准化载波业务单位。同样地，一个 E1 链路可以提供服务的最大标准化业务也是 100 个“标准化业务单位”（两个 E1 链路为 200，三个 E1 链路为 300，以此类推），同样也可以使用保守的（更低的）阈值。结合并且标准化语音业务和数据业务的一种简便直接的方法就是用如下的等式来描述的：

$$T_{\text{sector}} = 100\left(\frac{T_{\text{VoicePerSector}}}{T_{\text{MaxVoicePerCarrier}}} + \frac{T_{\text{DataPerSector}}}{T_{\text{MaxDataPerCarrier}}}\right) \tag{7.5}$$

$$T_{\text{Iub}} = 100\left(\frac{T_{\text{VoicePerSite}}}{T_{\text{MaxVoicePerE1}}} + \frac{T_{\text{DataPersite}}}{T_{\text{MaxDataPerE1}}}\right) \tag{7.6}$$

式中　T_{sector}——每个扇区的标准化无线业务；

$T_{\text{VoicePerSector}}$——每个扇区的语音业务（以 Erlang 为单位）；

$T_{\text{MaxVoicePerCarrier}}$——没有数据业务时每个扇区每个载波的最大语音业务（以 Erlang 为单位）；

$T_{\text{DataPerSector}}$——每个扇区的数据业务（以 kbit/s 为单位）；

$T_{\text{MaxDataPerCarrier}}$——没有语音业务时每个扇区每个载波的最大数据业务（以 kbit/s 为单位）；

T_{Iub}——每个位置的标准化 Iub 业务；

$T_{\text{VoicePerSite}}$——每个位置的语音业务（以 Erlang 为单位）；

$T_{\text{MaxVoicePerE1}}$——每个 E1 链路的最大仅语音业务（以 Erlang 为单位）；

$T_{\text{DataPersite}}$——每个位置的数据业务（以 kbit/s 为单位）；

$T_{\text{MaxDataPerE1}}$——每个 E1 链路的最大仅数据业务（以 kbit/s 为单位）。

7.3.5　对容量扩充需求的建模

假设一种完美的（也就是无错的）容量规划过程，第一步就是计算出需要扩充容量的大小，通过此扩充的容量来应对预测到的业务。为了使这个过程简单，假设业务大小总是在增长或者在某个时刻是稳定的，但是从不减小。此外，最初的计算是在假设完美的容量规划过程下完成的，人工错误的影响会在后面介绍。

假设所有的扇区都配备有基础设施来管理一个 UMTS 载波（在本书中，一个载波代表一个可以让一个扇区管理一个独立的 UMTS 载波的收发器）。在某一年 i，每个扇区的相对于初始配置的额外载波的数量 $C(i)$ 可以由下式计算：

$$C(i) = N * \sum_{n=1}^{\infty} (n-1) \cdot P_n(i) \quad (7.7)$$

式中　N——网络中扇区的数量；

$P_n(i)$ ——每个扇区所需的最小速率，激活第 n 个载波以此（部分地或者完全地）处理第 i 年的业务。

$P_n(i)$ 的计算是基于 7.3.4.1 节（见图 7.9 和图 7.10）提到的业务分布的。注意上述百分比随着年份的不同而不同的原因是：随着时间的变化，业务的分布也在变化。此外，注意到对于这个简单的计算，假设没有频谱的限制（这个在自优化的例子中会讲到）。

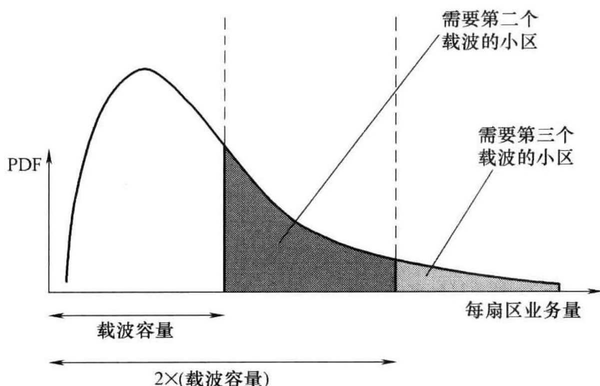


图 7.9　计算对于某一特定业务分布的额外载波需求量（相对于初始配置）

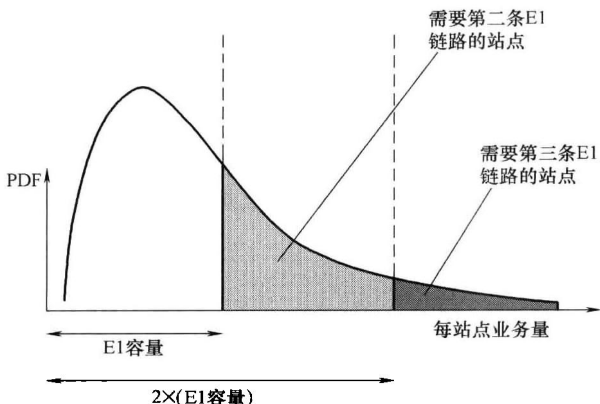


图 7.10　计算对于某一特定业务分布的额外 E1 链路需求量（相对于初始配置）

同样地，如果首先考虑所有的扇区都配备有硬件设施来处理 M 个载波，这个过程的结构也是类似的。得到的等式（计算相对于开始点所需的额外载波数）如下：

$$C(i) = N * \sum_{n=M}^{\infty} (n - M) \cdot P_n(i) \tag{7.8}$$

此时，必须强调计算出来的第 i 年需要的额外载波数 $C(i)$ 代表了该年相对于初始配置需要的额外硬件［也就是相对于最开始阶段为了现金流节省安装的设备，即 $C(0)$］。因此，对于给定的一年 i，新增的额外载波数 $A(i)$ 的实际数值是

$$A(i) = C(i) - C(i-1) \tag{7.9}$$

在计算 Iub 接口中的容量扩充时，原理是类似的，但是要考虑到一些不同的地方：

1）因为 Iub 接口物理连接到 NodeB，而不是扇区，因此假设在相同的 NodeB 中所有扇区的资源是合并的。

2）因此，对于某一 Iub，当相应的 NodeB 的聚合的业务超过了当前配置的容量时，就需要进行容量扩充，尽管可以引进一些使得计算更加保守的安全余量。

3）描述每个地点的业务特点时，基于当地的同构网络有几个选择方案。对于典型的 NodeB 有 3 个扇区的情况，假设每个 NodeB 在忙时的平均业务是每个扇区平均业务的 3 倍，这也就隐含认可了负载的扇区倾向于相对组合在一起的假设，然而负载较轻的扇区倾向于在低负载的 NodeB 中局部地集中。这就是在这个例子中考虑到的假设，尽管如果对于考虑网络的业务分布有更具体的信息，还可以用其他的分布。

4）在本书中分析投资新载波时，每年只针对考虑额外载波，因为对于额外载波设备的投资都是一次性支付。然而在这个例子中，假设给 Iub 接口提供容量的 E1 链路是租用线路。在这种情况下，对于每一个租用线路需要支付年费，无论这条专线在前一年是否已经是激活的。

7.3.6 CAPEX 计算

在这个例子中，对于不同现金流的 CAPEX 贡献，是通过直接比较理想 SON 功能的无错容量规划和在 7.3.3 节介绍的包含错误的人工过程来计算的。在本章中，对于每一年 i，贯穿始终应用这些方法和模型，由于更加合理的 CAPEX 分配过程会导致不同的现金流成分，其中 $CF_{CAPEX}(i)$ 的计算如下：

$$CF_{CAPEX}(i) = Cost_{Carrier} * (A_{Manual}(i) - A_{SON}(i)) \tag{7.10}$$

式中　$Cost_{Carrier}$——每次增加载波设备的货币成本；

$A_{SON}(i)$——在第 i 年内网络中增加的额外载波数量，这个过程是通过完美的 SON 功能无错地完成的；

$A_{Manual}(i)$——人工容量规划的情况下的额外载波数（根据 7.3.3 节介绍的过程）。

7.3.7 OPEX 计算

在这个例子中，关于SON的OPEX节省的讨论可以围绕两个完全积累的方面：①通过更加合理的过程来决定链路激活与否，从而使得租用E1链路的年费更低；②通过自动化从而使得工作量更低。

7.3.7.1 更低的每年租用传输线费用

这个计算过程和之前介绍的个体CAPEX对于年度现金业务贡献计算的过程是一样的。如前所述，惟一的不同就是租用的传输线路构成了年度的经常性费用，也就是这个费用并不是一次性付清的。因此，每年的两种计算方法（人工规划或者SON）都需要考虑到所有已经安装的租用线路，无论这些线路在当年或者往年是否安装。

应用本章介绍的方法和模型，对于每一年 i，由于更加合理地租用线路安装过程导致的不同现金流成分 $CF_{\text{OPEX,links}}(i)$ 计算如下：

$$\mathrm{CF}_{\text{OPEX,links}}(i) = \mathrm{Cost}_{\text{Link}} * (L_{\text{Manual}}(i) - L_{\text{SON}}(i)) \tag{7.11}$$

式中 $\mathrm{Cost}_{\text{Link}}$——每个安装的传输链路（在这里指每个E1链路）的年费；

$L_{\text{SON}}(i)$——在第 i 年内网络中运营的链路（这里指E1链路）总数（无论这些链路是否在该年或者往年安装，因为这些链路被假设为租用链路，这意味着每年的经常开支），在这种情况下，可以无差错地从所需链路数量获得完美SON功能；

$L_{\text{Manual}}(i)$——人工规划下的网络中链路总数（根据7.3.3节中描述的过程）。

7.3.7.2 由于自动化导致的更低工作量

这些OPEX节省很容易计算。这种计算基于人工完成前面提及的容量规划任务所需要的工时数、名义上每个工时的成本以及操作对应的SON功能所需要的工时（如果有的话）。需要注意到一些SON功能，尤其是自规划中的功能，它们都是自动的但并不是完全自主的，因为有时候可能需要人工介入来初始化这个过程。这些OPEX节省可以总结如下：

$$\mathrm{CF}_{\text{OPEX,auto}}(i) = \mathrm{Cost}_{\text{Man-hour}} * (\mathrm{Effort}_{\text{Manual}}(i) - \mathrm{Effort}_{\text{SON}}(i)) \tag{7.12}$$

式中 $\mathrm{CF}_{\text{OPEX,auto}}(i)$——在第 i 年由于自动化导致的不同现金流组成成分；

$\mathrm{Cost}_{\text{Man-hour}}$——每个工时的货币成本；

$\mathrm{Effort}_{\text{Manual}}(i)$——在第 i 年人工完成前面提及的容量规划任务所需的工时数；

$\mathrm{Effort}_{\text{SON}}(i)$——在自动方式下，SON功能完成容量规划过程所需要的工时数。

7.3.8 示例场景和 ROI

7.3.8.1 ROI 的计算

这个实例计算所需的假设列在表7.1中。假设的语音和数据的业务增长轮廓如

图7.11所示，应对业务所需的总载波数（在网络水平下）如图7.12所示。可以看到，这个数随着业务的增长平稳地增长。

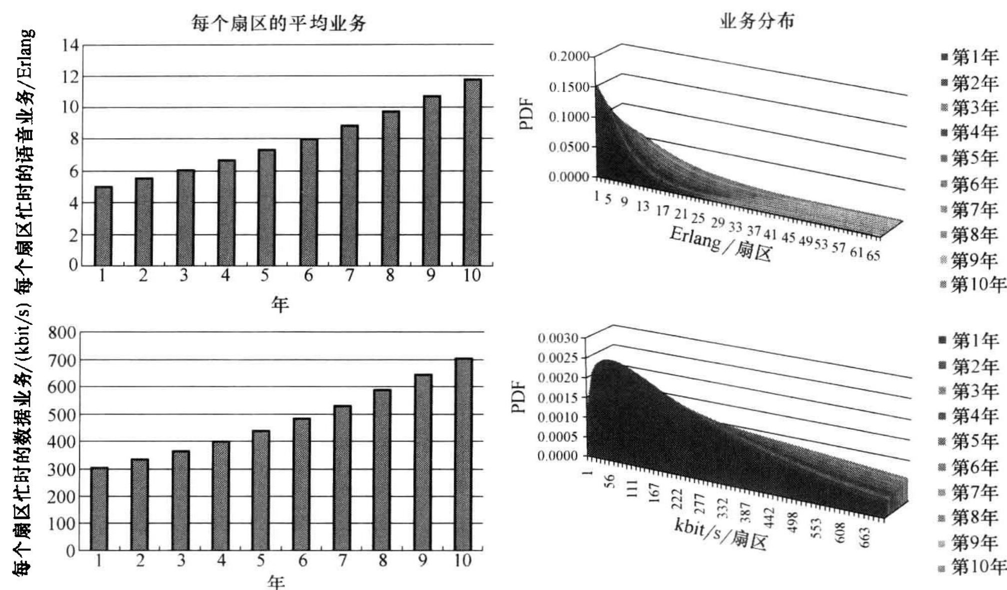


图7.11 假设的语音和数据业务模式

现在开始讨论理想的、无错的容量规划过程。表7.1的假设表明，网络最开始配置有60000个载波（10000个点×3个扇区/点×2个载波/扇区）。然而，如图7.12所示，第一年总共需要60166个载波，因此需要增加166个额外的载波。

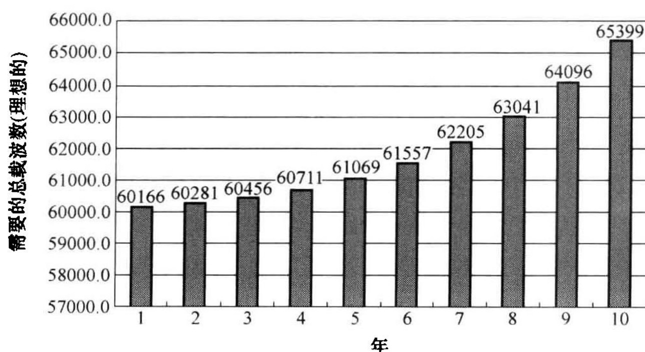


图7.12 服务所有业务所需要的载波总数

表 7.1　自规划 ROI 评价的假设

网络大小以及最初始的配置	
地点的数量	10000
每个地点的扇区数量	3
第一年每个扇区的初始载波数（第 1 年）	2
第一年每个地点的 E1 链路数量（第 1 年）	2
人工过程的准确度（保守的错误率，和外场测试一致）	
过高估计率（o）	20%
过低估计率（u）	2%
第一年每个扇区的初始平均业务量	
语音（R99）	5Erlang
数据（HSDPA）	300kbit/s
业务增长	
相对的业务增长模式（%；第 2～10 年）	[10,10,10,10,10,10,10,10,10]%
成本结构	
每个 E1 链路的年度 OPEX	5000 欧元
估计 1000 个地点所需的工作日数量	40
每个工程师每天的 OPEX	300 欧元
运转完美的 SON 解决方案所需的 OPEX	0 欧元
每个扇区额外载波的 CAPEX	15000 欧元
容量数据和其他的无线指标	
仅有语音的无线接口容量（R99）	21Erlang
仅有数据的无线接口容量（HSDPA）	1600kbit/s
仅有语音的纯 Iub 容量（R99，每个 E1 链路）	25Erlang
仅有数据的纯 Iub 容量（HSDPA，每个 E1 链路）	630kbit/s
软切换费用	40%

每年为了满足增加的业务所需要增加的载波数如图 7.13 所示。可以看到，第一年的这个数是 166，这个值会根据年度业务量的变化而变化。第一年的载波增加需求比第二年大，这是因为网络的初始配置是不够的。因为假设每年业务增加 10%，随后每年的需求会以指数形式增长，这是由于年度绝对业务量增长越来越大。

对于人工情况，额外载波数量如图 7.14 所示，这意味着实际购买额外设备。这是根据 7.3.3 节关于人工处理容量剩余和每年估计错误结转的假设来计算的。要注意到，为了便于比较，图 7.14 同时也显示了由于应用先进的自规划技术导致没

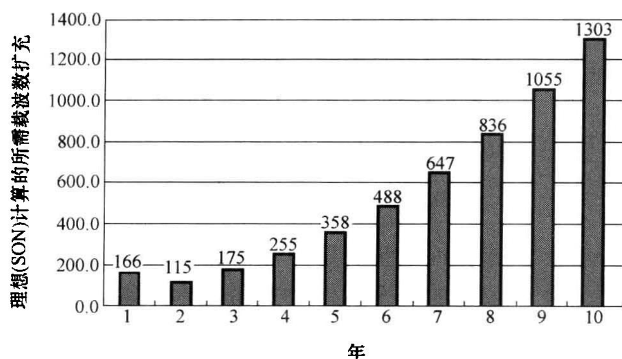


图 7.13 理想计算（通过自规划功能）得到的（每年）为了应对业务增加所需要的载波数扩充

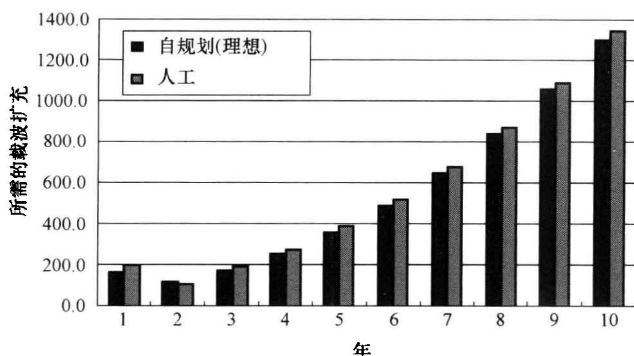


图 7.14 完美自规划功能计算和人工计算每年为了应对业务增长所需载波扩充的对比

有错误的情况下产生的载波增加数量。

从图 7.14 中可以看到，理论计算值和人工计算值的区别并没有表 7.1 中假设的 20% 的过高预测率那么大。这是因为事先对过高估计项假设的结转和补偿机制（参见 7.3.3 节），表明可以在随后的一些年灵活地使用（通过不需要成本的硬件重定位）不必要的载波，这样就减少了需要进行采购的数量。同时，由于应用结转机制，在接下来的一年，通过人工方法计算的额外载波数就要比自规划计算的数量少，这也就对当年与 CAPEX 相关的不同现金流成分造成了负面影响（见图 7.15）。需要注意到，这种影响每年都会有。然而，在第 2 年，由于在第 1 年对投资的大量需求（由于初始网络的配置不够）和第 2 年适当的业务增加，导致这样的极限值，以至于与 CAPEX 相关的不同现金流的值变成负数。换句话说，第 1 年人工过程导致投资过度，在第 2 年使用第 1 年的过度投资。如前所述，这就意味着自规划技术的应用延迟了对于投资的需求，这对于 NPV 有着积极地影响，虽然这对一些个人现金流成分有着负面影响（见图 7.3）。

	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年
基建费用减少	0.45	−0.14	0.16	0.22	0.28	0.35	0.43	0.51	0.59	0.67
额外的载波	0.45	−0.14	0.16	0.22	0.28	0.35	0.43	0.51	0.59	0.67
运营成本减少	8.32	1.66	1.86	2.08	2.32	2.57	2.84	3.13	3.42	3.72
E1 链路的扩充	8.20	1.54	1.74	1.96	2.20	2.45	2.72	3.01	3.30	3.60
自动化	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
总(百万欧元)	8.77	1.52	2.02	2.30	2.60	2.92	3.27	3.64	4.01	4.39

图 7.15　自规划的现金流预测

一旦计算出需要购买的硬件数量，就可以计算相应的现金流成分，只需要简单地将每年需要的载波数和假设的每个载波的货币成本相乘即可。

接下来，可以对 E1 链路扩充进行类似的例证，在这个例子中 E1 链路被视为每年重复的 OPEX。应用上述的方法，就可以进行如图 7.15 所示的现金流预测，并且假设减少率为 20%，得到的 NPV 结果［见式（7.1）］是 1592 万欧元。

7.3.8.2　敏感度分析

接下来，提供了一种简单的敏感度分析方法，以此来说明 NPV 对于许多不同的输入参数的依赖。首先，对业务增长模式的依赖已经分析过了，表 7.2 一起展示了 3 种不同业务增长模式以及与之相对应的 NPV。

表 7.2　自规划的 NPV 与业务增长的关系

相对的业务增长模式(%;第 2～10 年)	NPV/百万欧元
[10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10, 10]	15.92
[20, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 20, 20]	32.35
[30, 30, 30, 30, 30, 30, 30, 30, 30]	51.07

表 7.2 的主要结论是：业务增长模式越剧烈，就会导致由于自规划功能更大的 ROI。这是由于越是剧烈的业务增长模式，就越是导致更多的容量需求，因此从无错容量规划过程中就会有更多的获利空间。

表 7.3 展示了 NPV 对于过高估计率（表 7.1 中的 o）的依赖。对于这个计算，使用表 7.2 的第 1 种业务增长模式：[10，10，10，10，10，10，10，10，10]%。正如预期的一样，人工过程越高的过高估计率会导致由于完美自规划方案的更大 ROI。

表 7.3　自规划的 NPV 与过大估计的关系

过高估计系数(o)	NPV/百万欧元
20%	15.92
30%	25.74
40%	36.87

表 7.4 中，分析了 NPV 对于每个扇区初始载波数的依赖。分析中，使用了表 7.2 中的第 1 种业务增长模式：[10，10，10，10，10，10，10，10，10]%，过高

估计率假设是 20%。可以看到，网络初始装备的载波数越少，完美方案得到的值更高，这是因为这将会导致对于容量扩充更大的需求，因此从无错容量规划过程中的获利空间就越大。

表 7.4　自规划 NPV 和初始载波数的关系

每个扇区的初始载波数	NPV/百万欧元
1	18.64
2	15.92
3	15.13

7.4　案例研究：自优化的 ROI

7.4.1　自优化和 ROI 的组成

本节所涉及的自优化被设想为一种在线的自适应过程，且能连续地自主运行，也就是说，没有任何的人工介入。按照这样的方案，输入由好几个来源（性能计算器、当前参数设定、警报、呼叫追踪等）以及关于如何修改关键参数设定值的合格决策组成，这些决策以每个网络单元（或毗邻网络单元）为基准，是自动制定和实施的，目的是使设定值与不断变化的环境和通信质量相适应，确保最优化操作。用人工操作实现该过程通常是不现实的，因为它所需要的工程带宽是无法达到的。因此，尽管是完全自主的过程，却没有带来与自动化直接相关的运营成本节约，因为在没有引进 SON 时，这些工作通常是不需要执行的。

此外，有效的自优化进程的出现带来了重大的质量提高，这会转化成额外收益以及由于客户退出减少所带来的资金流动，这是接下来的分析中要考虑的。除了提高质量，与自优化相关的效益的讨论将集中于这样一个事实：一个被恰当地最优化后的网络会得到容量的显著提升（主要体现在接收端，在发送端也会有，这主要是通过负载均衡技术提高集群效应带来的），这意味着相同数量的 HW 可以用来服务更多的业务。容量的提高，降低了今后由于容量原因导致的对增加 HW 和传输的需求，并因此给 CAPEX 和 OPEX 产生重要影响，带来不同的现金流。

尽管自规划和自优化能降低 HW 扩展引起的 CAPEX，但是它们所用的机制并不相同。自优化方法可以增加每个无线电设备单元所能服务的通信量，而自规划方法则是精确计算何时何地需要额外的容量来避免不必要的设备投入。

7.4.2　自优化的 SON 建模

从建模角度看，自优化的影响将由以下 3 个部分构成：

1）掉话率降低，从人工的掉话率（DCR_{Manual}）到网络自组织的掉话率

（DCR_{SON}），这将减少客户退出，提高客户忠诚度，并因此提高 EBITDA（未计利息、税项、折旧及摊销前的利润）。

2）从无线通信角度看，更高的扇区容量，可理解为每个扇区每个载波所能服务的业务增加。这项增益将减少或延迟所需要的载波数增加。应用 SON 技术，平均每扇区的无线通信容量将以系数 G_{SON} 增长，此处假设该系数对于语音和数据通信业务都相同。

3）通过负载均衡技术降低每个扇区业务分配的分散度，用以缓解 Iub 接口拥塞的问题。外场测试表明，在通用移动通信系统（UMTS）的基站内采用基站间负载均衡技术，业务分配标准差降低的系数约为 20%（该系数表示为 X_{SON}）。

7.4.3　描述业务特性

本节使用与 7.3.4 节完全相同的模型和注意事项。模型中惟一的不同是：虽然在自规划分析中，采用 SON 技术前后的业务分配被假设为相同的，然而本节中，自优化的使用将降低每扇区业务分配的标准差，降低的系数表示为 X_{SON}（见 7.4.2 节），因此缩小了业务的分布。

7.4.4　扩容建设的需求建模

大体上来说，本节将采用与 7.3.5 节相同的方法。在本节中，对使用和不使用 SON 情况的评估，将采用不同的扇区容量值（从接收端角度说）和不同的通信量分布，这点和 7.4.2 节、7.4.3 节一样。此外，本节的模型中将引入两个新的影响因素：

1）有关物理站点设施的可用频段和无线通信设备最大空间的限制。尽管这两个因素的影响从本质上讲是不相关的，但是它们都能联合体现在一个简单的限制中，即平均每扇区的最大载波数量，用 $MAX_{carriers}$ 表示。当一个扇区所需载波数量大于 $MAX_{carriers}$ 时，由于容量限制的原因，应该在它旁边部署一个新的站点。

2）无线网络控制器（RNC）的容量限制，它用所能控制的最大逻辑单元数（$RNC_{capacity}$）表示。在这个背景下，在给定扇区中添加一个新的载波意味着创造一个新的逻辑 UMTS 单元。当逻辑单元数超过限制值时，就需要安装一个额外的 RNC。

由于扩容建设需求的降低带来的那部分投资回报率（ROI）的总体计算流程总结在图 7.16 中。

7.4.5　质量、用户退出和收益

正如之前提到的，网络质量对总体的客户退出有影响。既然现在已经有许多方法来判断无线网络中谁会退出[1,2]，那么最重要的是要区分导致客户退出（或离开

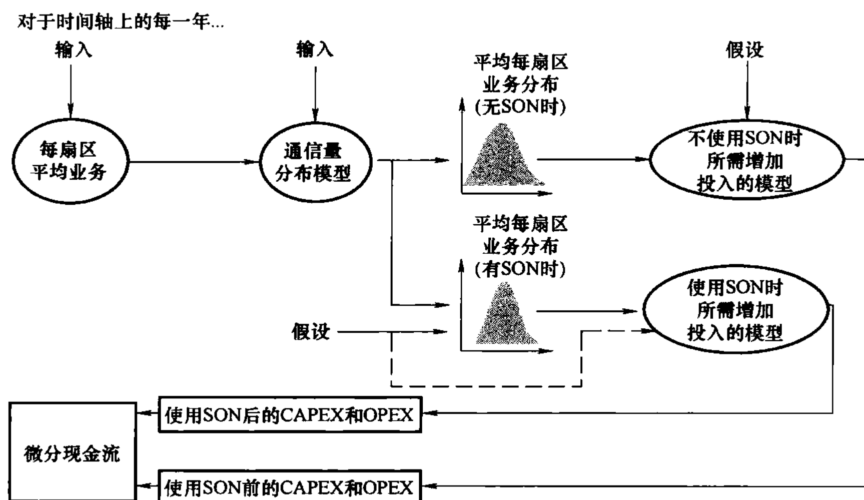


图 7.16　总结自优化投资回报率中基于容量的基建费用和运营成本部分的计算

某个运营商而转向其他）的不同原因，随后确定哪些原因是由 SON 导致的。举例来说，导致客户退出的原因可被归类为以下 6 种（与参考文献［3］一致）：

1）服务成本。由服务成本导致的退出客户占退出客户总数的比重被表示为 cf-cost，0～1 中取值。

2）营业额（比重 = cfbilling，0～1 中取值）。

3）品牌形象（比重 = cfbrand，0～1 中取值）。

4）售后服务（比重 = cfservice，0～1 中取值）。

5）服务计划的选择权（比重 = cfoptions，0～1 中取值）。

6）网络质量（比重 = cfnetwork = cfn，0～1 中取值）。

从数学上讲，下面的表达式必须成立：

$$\text{cfcost} + \text{cfbilling} + \text{cfbrand} + \text{cfservice} + \text{cfoptions} + \text{cfn} = 1 \qquad (7.13)$$

虽然实际上导致某客户退出的原因是多方面的，但通常会有一个主因。为了得到导致客户退出的不同原因相对重要性的初步近似值，可以将一些令人满意的调查结果用来评估，例如 J. D. Power、Nielsen 或其他人的。在这些报告中一个有代表性的发现是，网络质量通常是客户总体满意度的最重要度量。实际上，J. D. Power[3] 将客户总体满意度的驱动因素分类为图 7.17 中所示的部分，可见其中网络质量对用户总体满意度的贡献占 32%。在这点上，人们认为通过 SON 或其他方式提高网络质量将会减少客户退出，这主要是由于网络质量问题。

为了从客户退出的角度来描述提高网络质量的好处，第一步是计算由于网络质量导致的客户退出的总体百分比，用 cn 表示，它是用总退出率（用 c 表示）乘以

由于网络质量（用 cfn 表示）而退出的那部分客户数量得到的，即

$$cn = c \cdot cfn \tag{7.14}$$

过去，有好几种方式来预测 cfn，例如调查退出的客户，请他们归类自己退出的首要原因，研究代理人关于网络质量的投诉（例如，基于客户服务接到的电话）或者基于外部第三方对网络满意度的测量和调查。这些方法对于理解客户转换运营商后发生了什么很有用。然而为了通过提高网络质量预测网络退出率（c）具体能降低多少，需要建模一个关于关键业绩指标（KPI）的函数，它能通过网络统计信息获得。由于当前的目标是得到一个出于 ROI 目的的模型，这里考虑用一个最简单的线性模型来预测 cfn 值如下：

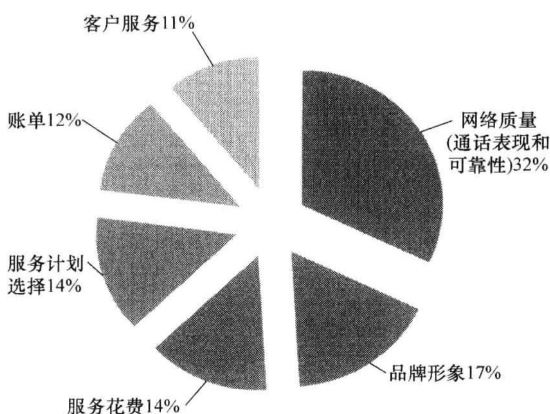


图 7.17　J. D. Power 客户总体满意度

$$cfn = w_1 \times KPI_1 + w_2 \times KPI_2 + \cdots w_n \times KPI_n + b \tag{7.15}$$

式中　$\{w_i\}$——一个权重的集合，它是用来描述每个 KPI 相对重要性的；

b——常数。

例如，假设考虑以下 3 个 KPI 来建模客户的退出：

1）对覆盖范围不满的客户所占比例。

2）由于网络质量问题而掉话的比例。

3）由于接入问题无法开启通话的比例。

特别地，如何测量给定网络中的 3 个 KPI 的方法随着网络基础设施供应商和无线接入技术的不同而不同。例如，在一个 UMTS 系统中，可以使用下述定义：

$$KPI_1 = \%\text{ calls with}\left\{(\text{RSCP} < -100\text{dBm})\text{或}\left(\frac{\text{Ec}}{\text{Io}} > -15\text{dB}\right)\right\} = \text{中断概率} \tag{7.16}$$

$$KPI_2 = \text{掉话率} = \text{DCR} \tag{7.17}$$

$$KPI_3 = \text{呼叫建立失败率} = \text{CSFR} \tag{7.18}$$

如果 cnf（$i = 1 \cdots K$）的一组测量值（K）是已知的，例如通过不同地理区域的客服收到的投诉情况的测量或统计值获得，那么式（7.15）中权重 $\{w_i\}$ 的最优值和常数 b 都能简单地通过多元标准回归技术计算出来[⊖]。用矩阵形式，可将权重的最小二乘解表示如下：

⊖ 如 Microsoft Excel 中就有一个简单的多元回归问题求解程序，其命令为 LINEST（）。

$$\begin{bmatrix} \mathrm{cfn}(1) \\ \vdots \\ \mathrm{cfn}(K) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathrm{KPI}_1(1) & \mathrm{KPI}_2(1) & \cdots\mathrm{KPI}_n(1) \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ \mathrm{KPI}_1(K) & \mathrm{KPI}_2(K) & \cdots\mathrm{KPI}_n(K) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ w_2 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b \\ \vdots \\ b \end{bmatrix} \tag{7.19}$$

能化简出以下矩阵形式：

$$\overline{\%\,\mathrm{CFN}} = \mathrm{KPI} \times \overline{W} + \overline{B} \tag{7.20}$$

正如参考文献［4］中解释的，权重的最小二乘解可以使用下述方程得到：

$$\overline{W} = (\mathrm{KPI}^{\mathrm{T}}\mathrm{KPI})^{-1}\mathrm{KPI}^{\mathrm{T}}\,\overline{\%\,\mathrm{CFN}} \tag{7.21}$$

其中$\overline{B}$可以当作残留误差矢量计算。

假设由于 SON 的应用，使得每个 KPI 乘以一个系数 G_i（通常 $G_i \leqslant 1$，表示 KPI 增加）。在此例中，结合式（7.14）和式（7.15），可以将由质量引起的总体退出率降低（表示为 Δ_{churn}）表示如下：

$$\Delta_{\mathrm{churn}} = \mathrm{cn}_{\mathrm{OLD}} - \mathrm{cn}_{\mathrm{NEW}} = c \cdot (\mathrm{cfn}_{\mathrm{OLD}} - \mathrm{cfn}_{\mathrm{NEW}}) = c \cdot \sum_{i=1}^{n} w_i \cdot \mathrm{KPI}_i \cdot (1 - G_i) \tag{7.22}$$

并且，由于质量改善所避免的年度收入损失（表示为 R）能用下面的简单公式表示：

$$R = \Delta_{\mathrm{churn}} \cdot S \cdot \mathrm{ARPU} \cdot 12 \tag{7.23}$$

式中　S——用户数；

ARPU——以月为单位测量。

7.4.6　CAPEX 的计算

在本例中，将考虑 3 个不同的 CAPEX 部分：新的载波、新的扩容站点和新的基站控制器。对每一年 i，由于容量增长带来了 CAPEX 节约，所产生的这部分差异资金流动 $\mathrm{CF}_{\mathrm{CAPEX}}(i)$ 可以表示如下：

$$\mathrm{CF}_{\mathrm{CAPEX}}(i) = \mathrm{Cost}_{\mathrm{Carrier}} * (A_{\mathrm{Manual}}(i) - A_{\mathrm{SON}}(i)) + \mathrm{Cost}_{\mathrm{Site}} * (S_{\mathrm{Manual}}(i) - S_{\mathrm{SON}}(i)) + \mathrm{Cost}_{\mathrm{RNC}} * (\mathrm{RNC}_{\mathrm{Manual}}(i) - \mathrm{RNC}_{\mathrm{SON}}(i)) \tag{7.24}$$

式中　$\mathrm{Cost}_{\mathrm{Carrier}}$、$\mathrm{Cost}_{\mathrm{Site}}$ 和 $\mathrm{Cost}_{\mathrm{RNC}}$——平均每个额外载波设备、扩容站点和 RNC 的成本；

$A_{\mathrm{SON}}(i)$、$S_{\mathrm{SON}}(i)$ 和 $\mathrm{RNC}_{\mathrm{SON}}(i)$——使用自优化进程时，在第 i 年的网络中所需设置的额外载波、扩容站点和 RNC 数；

$A_{\mathrm{Manual}}(i)$、$S_{\mathrm{Manual}}(i)$ 和 $\mathrm{RNC}_{\mathrm{Manual}}(i)$——不使用自优化程序时相应的量。

在上式中，假设平均每个载波、扩容站点和 RNC 的成本不随时间改变。想了

解更多由于业务增长，对扩容建设需求的计算方法的详细介绍，可以参考 7.4.4 节。

7.4.7 OPEX 计算

与自规划部分相比，本节中，惟一需要考虑的部分是较低的租用传输线年费。大体上讲，计算这部分资金流动的方法与 7.3.7.1 节类似。但是，在 7.3.7.1 节中，节省 OPEX 的原因是使用了更精确的容量规划程序来避免过度配置，而在本节中，节省 OPEX 的原因是由于基站之间负载均衡技术的使用，使得系统的集群效率提高，从而减少了通信量增长时所需的额外 E1 链接。正如 7.4.2 节所述，它可以通过降低平均每扇区通信量分配的标准差的方式来建立数学模型，也就是缩小分布，并因此降低需要更多 E1 链接的基站所占比例。因此，由于自优化所带来的那部分微分现金流 $CF_{OPEX,links}(i)$ 计算如下：

$$CF_{OPEX,links}(i) = Cost_{Link} * (L_{Manual}(i) - L_{SON}(i)) \tag{7.25}$$

式中 $Cost_{Link}$——平均每建立一个传输链路所需的年费（特例是平均每个 E1 的）；

$L_{SON}(i)$——若使用了自优化，在第 i 年网络中使用的总链接数（本例中是 E1 链接，无论是对这一年才设置的链接或者之前就有的，因为它们被假定为租借线路，这意味着每年都要周期性地付费）；

$L_{Manual}(i)$——不使用自优化技术时的相应值。

此处，假设平均每条链路的年费不随时间改变。

7.4.8 示例场景和 ROI

该示例场景所用的假设列在表 7.5 中，该假设下的业务增长概况如图 7.18 所示（对语音和数据业务都适用）。图中，模型使用的时间窗口是 10 年。图 7.19 表示为了适应通信量增长所需增加的额外载波、E1 链路、扩容站点和 RNC 的数量，对人工网络管理和自优化情况都有描述。在所有曲线中都能看出相同的趋势。可见，使用自优化算法的容量增益能推迟并减少 HW 扩展的需求，因为每个网络单元都能承载更多的业务。此外，由减少的客户退出引起的平均年额外收益变化如图 7.20 所示。

使用上述方法，可得到如图 7.21 所示的资金流动规划，假设折扣率为 20%，产生的净现值［由式（7.1）表示］是 13834 万欧元，如图 7.22 所示被分为不同的类别。

表 7.5 自优化的投资回报率评估中用到的假设

网络规模、限制和初始值	
基站数	10000
平均每基站扇区数	3

（续）

网络规模，限制和初始值	
平均每扇区初始载波数（第 1 年）	2
平均每基站初始 E1 链接（第 1 年）	2
$RNC_{capacity}$	500
$MAX_{carriers}$	3
客户数、每用户平均收入和客户退出	
客户数	2 千万
每月每用户平均收入	10 欧元
退出率（c）	10%
由于网络质量差而退出的用户比例（cfn）	0.1
SON 带来的质量提高	
DCR_{Manual}	0.7%
DCR_{SON}	0.5%
扩容数据	
G_{SON}	50%
X_{SON}	20%
忙时，每扇区的初始平均业务（第 1 年）	
语音（R99）	5 Erlang
数据（HSDPA）	300kbit/s
业务增长	
相应的业务增长模式（%；第 2 ~ 10 年）	[20,20,20,20,20,20,20,20,20]%
成本结构	
每 E1 链路的年度 OPEX	5000 欧元
每扇区额外载波的 CAPEX	15000 欧元
额外基站的 CAPEX	50000 欧元
额外 RNC 的 CAPEX	100000 欧元
容量数据和其他无线指标	
仅语音的无线接口容量（R99）	21 Erlang
仅数据的无线接口容量	1600kbit/s
仅语音的 Nett Iub 容量（R99，每 E1 链接）	25 Erlang
仅数据的 Nett Iub 容量（HSDPA，每 E1 链接）	630 kbit/s
软切换开销	40%

接下来，将通过一个简单的灵敏度分析来展示 NPV 对通信量增长模式的依赖性（见表 7.6）。可见，业务增长图案越陡，自优化功能获得的 ROI 越高，因为通信量增长越陡，所需扩容建设也就越多，这也就构成了更适当的实现容量增长带来增益的场景。

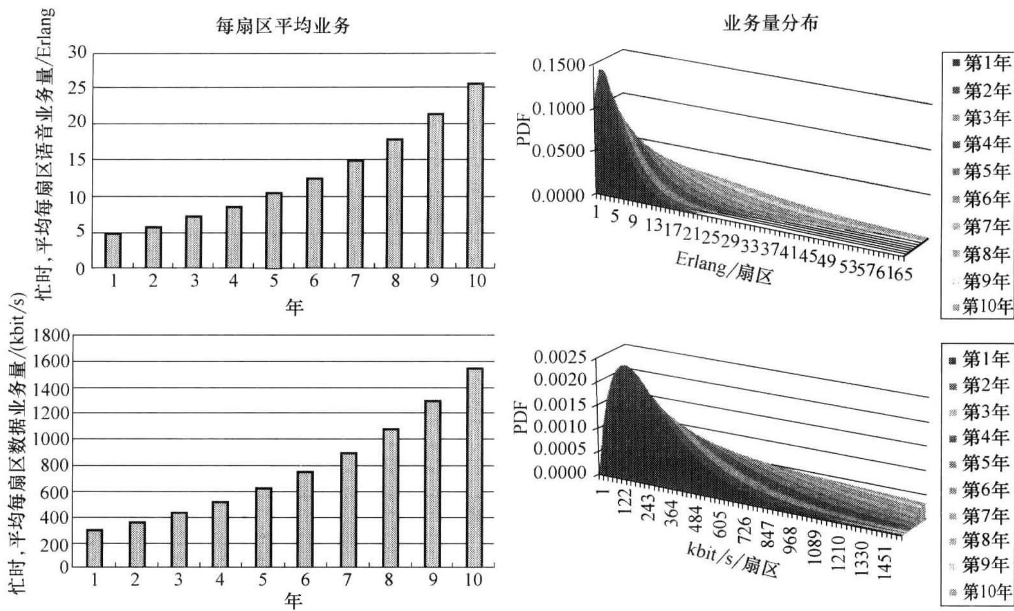


图 7.18 假设的语音和数据通信模型

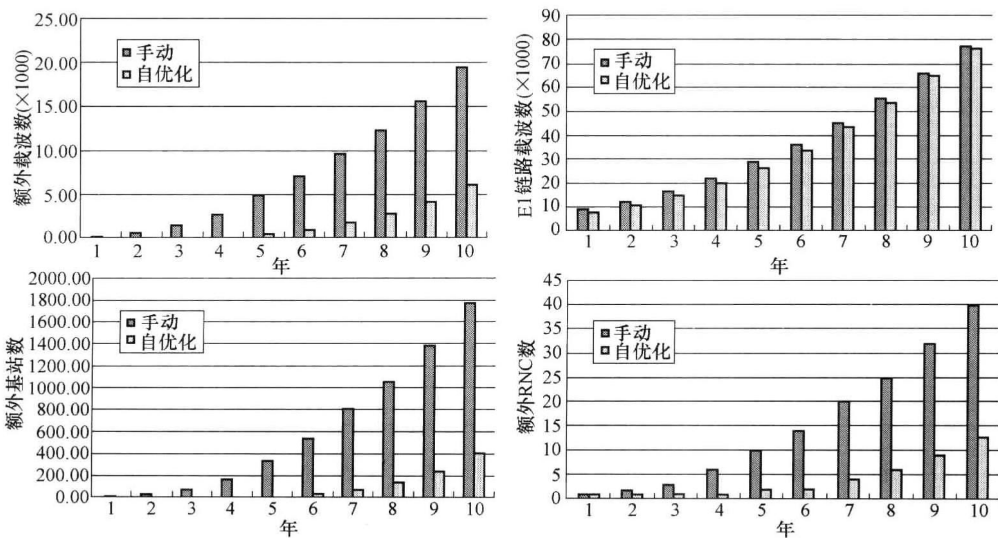


图 7.19 为了服务所有提供的通信量所需的额外载波、E1 链路、基站和基站控制器

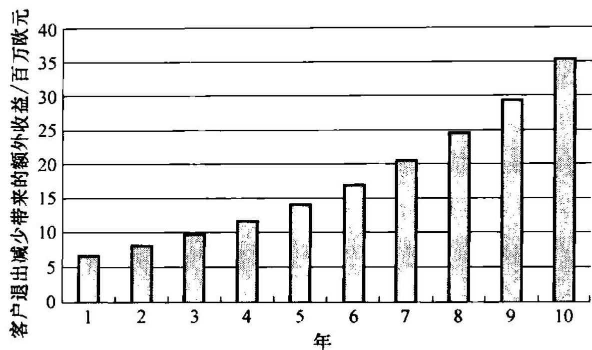


图 7.20　客户退出减少产生的平均每年额外收益

	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年
CAPEX降低	0.98	2.68	6.97	11.11	17.62	17.24	20.81	19.03	20.60	20.81
载波	0.83	1.87	4.31	6.02	8.81	8.08	9.49	8.59	9.29	9.57
基站设备	0.16	0.72	2.56	4.79	8.51	8.76	10.92	10.14	10.91	10.85
RNC	0.00	0.10	0.10	0.30	0.30	0.40	0.40	0.30	0.40	0.40
OPEX降低	6.55	7.62	9.31	10.95	12.54	13.70	11.57	9.26	8.60	3.70
E1减少	6.55	7.62	9.31	10.95	12.54	13.70	11.57	9.26	8.60	3.70
额外收益	6.86	8.23	9.87	11.85	14.22	17.06	20.48	24.57	29.48	35.38
客户退出减少	6.86	8.23	9.87	11.85	14.22	17.06	20.48	24.57	29.48	35.38
总计(欧元MEUR)	14.39	18.53	26.15	33.92	44.37	48.00	52.85	52.87	58.68	59.90

图 7.21　自优化的现金流规划

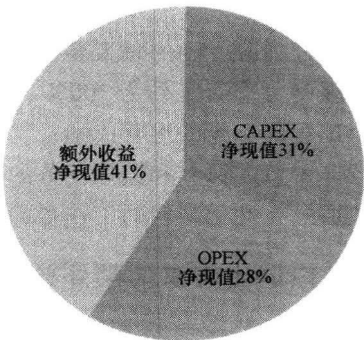


图 7.22　ROI 分类

表 7.6　自优化的 NPV 和通信量增长

相应通信量增长模型(%,第 2~10 年)	NPV/百万欧元
[10,10,10,10, 10, 10, 10,10,10]	101.77
[20,20,20,20,20, 20, 20,20, 20]	138.36
[30,30, 30,30, 30,30, 30,30,30]	175.17

7.5 案例分析：自愈合的ROI

自愈合的效益可以归类为以下两个主要方面：

1）由于监控和检修任务的自动化使得工作量降低并带来OPEX减少，这些任务在网络被人工管理时也需要执行。在这点上，外场试验表明，通过智能自动化手段，从一个有2000个基站的2G/3G网络中找出50个性能最差的扇区性能差的根本原因所需时间能减少90%。

2）通过对网络故障更快解决提高服务质量，会减少客户退出，从而带来额外收益。

7.5.1 自动化带来的OPEX降低

计算由于工作量降低带来的每年的周期性OPEX节省额（$OPEX_{Savings}$）的方法可以通过下述等式简单总结，假设检修活动通常以天为基准执行：

$$OPEX_{Savings} = \frac{Num_{Sites}}{Num_{SitesPerEngineer}} * I * OPEX_{PerEngineerAndDay} * Num_{WorkingDaysPerYear} \cdot Reduction_{Workload} \tag{7.26}$$

式中 Num_{Sites}——基站数；

$Num_{SitesPerEngineer}$——每个工程师分配到的每天要监控和检修的基站数；

I——工作强度（全天工作为100%、业余工作为50%等）；

$OPEX_{PerEngineerAndDay}$——每个工程师每天的运营成本；

$Num_{WorkingDaysPerYear}$——执行非紧急的保养和监控任务的有效天数；

$Reduction_{Workload}$——描述通过自动化减轻的工作量的百分比的效率因子。

7.5.2 提高质量和减少客户退出带来的额外效益

本节使用和7.4.5节相同的模型。

7.5.3 示例场景和ROI

计算该示例用到的假设都列在表7.7中。基于7.5.1节和7.5.2节所给的模型，由于自愈合技术的使用，年度OPEX节约351万欧元，此外每年还有686万欧元的额外收益。以10年的时间跨度计算，并使用和自规划、自优化分析中相同的方法，可得到如图7.23所示的现金流规划。假设贴现率为20%，产生的NPV［由式（7.1）描述］是4348万欧元。

表 7.7 自愈合的投资回报率评估所用到的假设

网络规模	
基站数	10000
OPEX 的成本结构	
每个工程师分配的基站数	100
工作强度(全天工作为 100%,业余工作为 50%)	50%
每个工程师每天的 OPEX	300 欧元
平均每年的工作天数	52 × 5 = 260
自愈合的影响	
工作量减少的系数(与外场测量一致)	90%
DCR_{Manual}	0.7%
DCR_{SON}	0.5%
客户数、每用户平均收入和客户退出	
客户数	20 千万
每月的每用户平均收入	10 欧元
退出率	10%
由于网络质量差而退出的用户所占比例	10%(由于上面是 10%,即 1%)

	第1年	第2年	第3年	第4年	第5年	第6年	第7年	第8年	第9年	第10年
OPEX降低	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51
自动化	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51	3.51
额外收益	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86
客户退出减少	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86	6.86
总计(百万欧元)	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37	10.37

图 7.23 自愈合的现金流规划

参考文献

[1] Ferreira, J., Vellasco, M., Pacheco, M. and Barbosa, C. (2004) Data Mining Techniques on the Evaluation of Wireless Churn, *European Symposium on Artificial Neural Networks Bruges*, Belgium, 28–30 April 2004.

[2] Pendharkar, P. C. (2009) Genetic algorithm based neural network approaches for predicting churn in cellular wireless network services, *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 36(3), pp. 6714–6720.

[3] J.D. Power and Associates Reports (2007) *Call Quality Plays an Increasingly Important Role in Customer Satisfaction With the Wireless Phone Experience*, 19 April 2007, http://www.prnewswire.com/news-releases/jd-power-and-associates-reports-call-quality-plays-an-increasingly-important-role-in-customer-satisfaction-with-the-wireless-phone-experience-58607222.html (accessed 3 June 2011).

[4] Lawson, C. L. and Hanson, R. J. (1974) *Solving Least Squares Problems*, Prentice-Hall, New Jersey.

附　　录

附录 A　UMTS 的地理定位技术

Carlos Úbeda

A.1　简介

地理定位测量报告（MR）已经成功地使用在业务图生成、准确电波传播建模等应用中。一种方式是利用广泛且容易获得的接收信号强度（RSL）进行测量。然而，这种依赖距离的测量方法的内在不确定性很大，会导致很低的地理定位精度。因此，目前的趋势更倾向于使用时间延迟测量[1,2]或两者的结合[3]。有些研究[4,5]还提出，相比于采用单一地理定位技术，联合跟踪技术能够提供更好的准确性。

基于时间延迟测量的地理定位算法利用观察时间差（OTD）机制，该机制下每次测量报告触发时都会汇报 OTD[6]。OTD 会受到很多限制，而这些限制将影响用户设备（UE）地理定位的精度，具体限制包括多径传播、数量有限的测量基站收发台（BTS）、非理想的基站同步恢复、测量误差以及不是连续发送而是以事件驱动方式发送的测量报告等。

对于移动网络的地理定位和跟踪算法的研究已经涉及大量参考文献[1-5]，但已有研究大部分都是采用不切实际的跟踪路径和过于乐观的测量报告集合来进行各种理论分析。附录 A 将评估实际网络中上述限制的影响，提出多种技术来减轻各种限制因素对性能的影响，并详细分析所提多种技术对地理定位精度的影响。

附录 A 结构如下：A.2 节简要介绍地理定位中 OTD 的用途；A.3 节对地理定位算法进行详细描述；A.4 节阐述用于评估算法性能的假设；A.5 节评估所提算法在不同场景下的性能；最后，A.6 节小结附录 A 的主要结论。

A.2　OTD

MR 消息每次发送时，UE 会将 OTD 上报给无线网络控制器（RNC）并进行主动设置管理。根据 3GPP 规定[6]，由给定 UE 发送的用于定位扇区 i 的 OTD，在某一码片时刻㊀可以表示如下：

㊀ 一个码片相当于 0.26ms 或 78m。

$$T_M[i] = Q + R[i] - T_P[i] \tag{A.1}$$

式中　$T_M[i]$——取值范围为 [0, 38399]；

Q——UE 的内部参考时间；

$R[i]$——扇区 i 的同步参考；

$T_P[i]$——传播时间，与 UE 和扇区 i 之间的距离 $d[i]$ 成正比，如下式所示：

$$T_P[i] = \frac{1}{\rho} \cdot d[i] = \frac{1}{\rho} \cdot \sqrt{(x_i - x_0)^2 + (y_i - y_0)^2} \tag{A.2}$$

式中　ρ——码片长度，单位为 m；

$[x_i,\ y_i]$ 和 $[x_0,\ y_0]$——扇区和 UE 的位置。

A.3　算法描述

OTD 与 UE 和报告的扇区之间传输距离成正比，因此可用于地理定位，下面将给出详细描述。

A.3.1　地理定位

在一个站点（或基站收发器）内的相同扇区进行多次 OTD 的汇报并不能提供任何新的独立的线性方程，因为在这些汇报中扇区和 UE 之间的距离是完全一样的。所以根据下式，按站点将 MR 分组可简化问题：

$$T_{NM}[i_S] = T_M[i] + 256 \cdot T_{cell}[i] \tag{A.3}$$

式中　$T_{NM}[i]$——归一化的 OTD；

i_S——扇区 i 所属的站点；

T_{cell}——和站点内不同扇区间的同步参考有关的已知网络参数。

由于 UE 的内部参考时间是未知的，需要考虑采用相对值，所以对于给定的 UE，站点之间的相对距离 i_S 和 j_S 可以写为

$$d[i_S, j_S] = \rho \cdot (T_{NM}[j_S, i_S] + R[i_S, j_S]) \tag{A.4}$$

其中，运算符 $X[a,b] = X[a] - X[b]$。

假设每个站点的同步参考已知，UE 的位置 $[x_0,\ y_0]$ 可以通过求解下列非线性方程组得到：

$$\begin{pmatrix} d[1,2] = \rho \cdot (T_{NM}[2,1] + R[1,2]) \\ \vdots \\ d[1,n] = \rho \cdot (T_{NM}[n,1] + R[1,n]) \end{pmatrix} \tag{A.5}$$

式中　n——被上报的不同站点数量。首先将泰勒级数[7]线性化，然后利用递归最小二乘法（RLS）[8]解系统方程组。需要注意的是，至少要有 3 个不同的站点（即 $n \geq 3$）上报给指定的 MR，系统方程组才能可解。在仅有两个站点被上报的情况下，UE 的位置可以通过测量传播时延（PD）

计算，PD测量将距离上报给呼叫建立扇区，这样可以增加一个额外的方程到式（A.5）中：

$$T_{PD}[i_S]=\frac{1}{\rho}\cdot d[i_S] \tag{A.6}$$

式中　$T_{PD}[i_S]$——UE和与站点i_S相关的呼叫建立扇区间的PD。

需要以3个码片的间隔上报，且仅能在与呼叫建立时间足够接近时方可使用，这些要求限制了PD的使用。

A.3.2　同步恢复

如前所述，在不同站点的同步参考已知的情况下，OTD测量可以很容易地用于地理定位。但是，在实际网络中这种同步较难实现，所以有必要制定一个切实可行的方法来进行评估。此处提出的算法参考了参考文献[9]中的方案，采用迭代方式，步骤如下：

1）通过假设UE的初始位置是信号最强扇区的位置，估计每个站点的初始同步参考；

2）选择一组状态良好的事件（上报大量的不同站点、没有多径传播等），预计它们能加快到实际同步参考的收敛程度；

3）根据步骤1）中估计的同步参考使用式（A.5）对选定的事件进行地理定位；

4）通过上一步中的地理定位更新同步参考；

5）重复上面的步骤直到同步参考收敛。

A.3.3　事件滤除

有很多因素会影响某些事件的OTD测量，例如严重的多径传播效应。考虑到这些事件会恶化估计位置，应该预先准确地检测到它们，不要进行地理定位。而且，这种分析对运营商确定网络中的某些配置问题也是极为有利的。主要的滤除条件如下：

1）错误的扰码（SC）分配：对于准确的地理定位，由上报的扰码解码出正确的站点，进而得到正确的站点坐标是必要的。SC分配失败的概率取决于SC规划和收集MR的区域。举例来说，在密集地区，这种概率会增大。

2）多径传播：由于建筑物和地形的反射，信号会以不同的延迟到达，影响OTD测量的准确度。

3）切换效应：根据3GPP规范[6]，要达到较理想的同步要求，报告服务扇区的OTD必须是256个码片的倍数。切换后，要与新的服务扇区达到同步需要一定的时间，在此期间收集的事件是不可靠的。

A.4　场景和可行的假设

拓扑结构和业务情况都可能对频率和收集的测量报告特性（潜在的多径传播、

上报的站点数等）产生影响，从而影响所能达到的精度。附录 A 研究了一个欧洲郊区和一个美国市区的两种不同的 RNC。为了进行详细地分析，在每个场景中收集跟踪了包含足够数据的 45min 呼叫，也就是 200000 多个事件。在欧洲场景下，通过比较估计的地理位置和在呼叫跟踪过程中路测的结果得到测量精度；而在美国场景下，则是与两个静态位置进行比较。图 A.1 显示了在欧洲场景下，路测过程中收集 MR 的地点。在 A.1 节中提到，有很长一段时间几乎没有 MR，这使得在这些区域进行正确的业务估计变得更加困难。

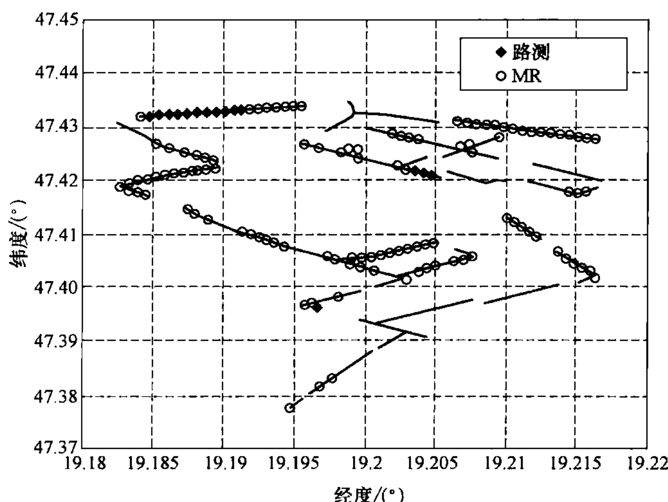


图 A.1　欧洲场景下路测过程中收集 MR 的地点

A.5　结果

上述分析表明，在实际网络的两种不同场景下，地理定位算法的性能取决于 OTD。所有结果均只考虑可以直接被定位的事件，即要报告至少 3 个不同的地点，除了在 A.5.4 节中研究的使用 PD 测量的影响。

A.5.1　每个事件上报的站点

上报的不同站点数量是正确定位一个事件的关键因素。图 A.2 显示的是两种场景下每个事件上报的站点数量的概率密度函数（PDF）。正如预期，报告更少站点的事件更为常见，但重点是关注不能直接被定位的两站点事件在概率密度分布中所占的比例。在美国的测试场景下，该比例达到 60% 左右，表明这种网络可能具有更好的优势，即与欧洲的网络相比具有更少的干扰。

A.5.2　事件状态报告

正如在 A.3.3 节中提到的，有些事件的 OTD 测量会因为传播条件而受到影响，导致它们被滤除不进行地理定位。除了这些过滤条件，还有两个因素会使事件在定

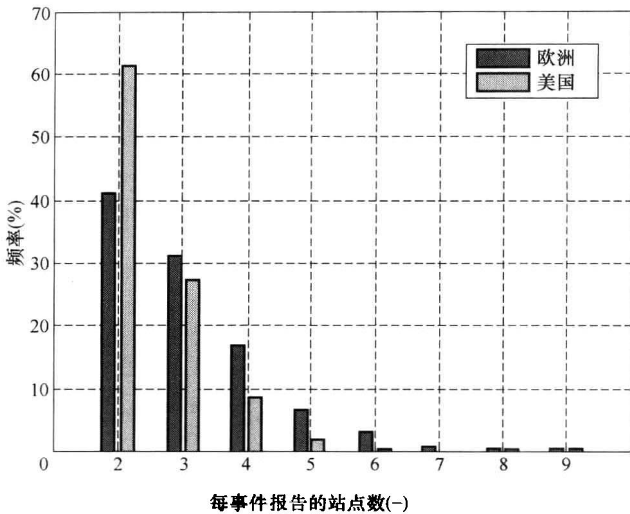


图 A.2　美国和欧洲两种场景下单个事件被报告的不同站点数量的概率密度函数

位过程中被丢弃：同步参考未正确恢复和 RLS 方法不收敛。事件分类的依据是它们的状态和图 A.3 所示的其相应的 PDF，从中可以得出：

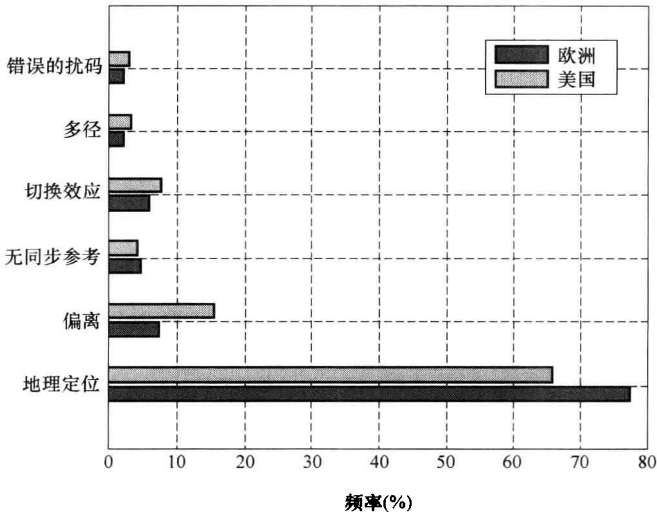


图 A.3　美国和欧洲两种场景下不同事件状态的概率密度函数
（仅包括报告至少 3 个不同站点的事件）

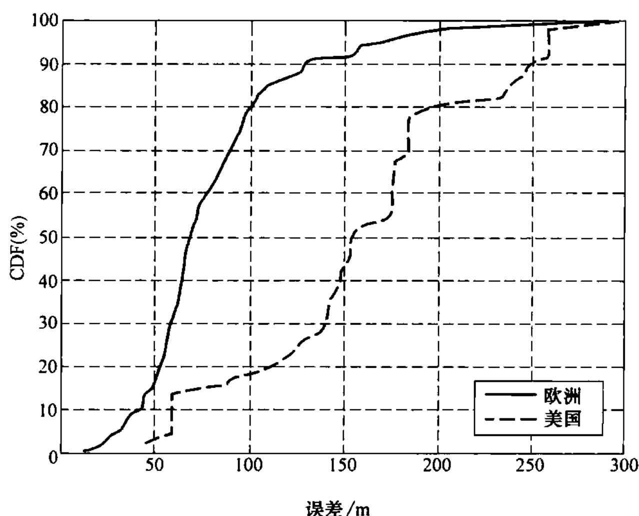
1）大多数上报至少 3 个不同站点的事件是通过地理定位得到的，所占的比例为 65% ~80%，这表明，在一个实际网络中使用 OTD 测量进行地理定位是一种可行的方法。

2）同步恢复算法具有很好的“鲁棒性”，因为只有约5%的事件由于缺乏同步参考在两种场景中均被丢弃。

3）在多径传播和错误的SC分配的情况下，与选定的欧洲场景相比，美国场景下滤除的事件数目更多。最大的区别是差异标准不同，可以通过一个事件报告的不同站点数越多其鲁棒性越强这一事实来进行解释。在美国场景下，事件包含的被上报的站点数明显比欧洲场景下的少。

A.5.3　地理定位精度

欧洲和美国两种场景下的定位精度如图A.4所示。如预期，由于更多数量的OTD测量偏差（见图A.3），美国场景下的结果更差。然而，美国场景下的中值误差小于150m，考虑到OTD测量存在码片的内在不确定性，这个结果是非常有前景的。



图A.4　美国和欧洲场景下地理定位误差的累积分布函数（仅包括报告至少3个不同站点的事件）

当事件滤除机制被禁用时，首先累积分布函数（CDF）的拖尾现象变得更加严重，其次受影响的事件数目增加，这足以证明，条件差的事件更可能被错误地定位。图A.5显示了在欧洲场景下，启用和禁用事件过滤机制时，地理定位误差（见图A.5a）及事件状态总数（见图A.5b）的累积分布函数。

A.5.4　使用PD测量的影响

前面的结果只关注上报至少3个不同站点的事件。两个站点的事件可以通过结合PD和OTD测量来进行地理定位。当与呼叫建立的时间足够接近时，PD的使用是可靠的。在这种情况下需要一个20s的时间窗口。欧洲场景下地理定位误差（见

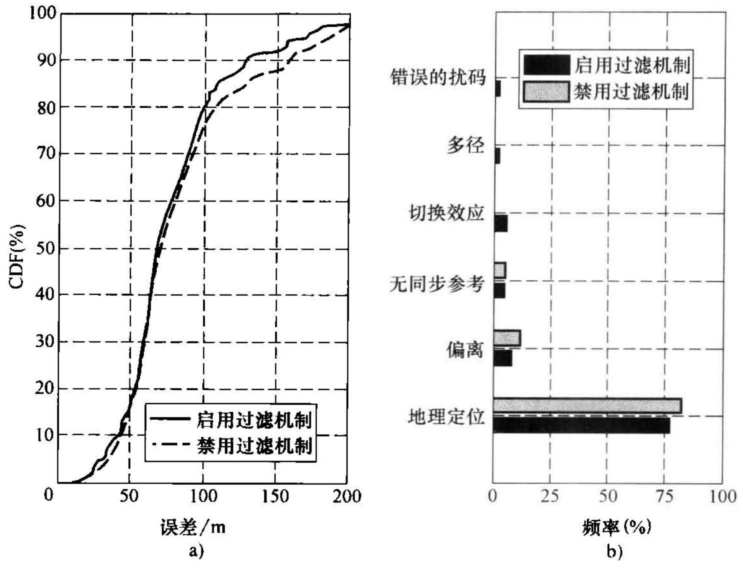


图 A.5　欧洲场景下启用和禁用事件过滤机制时地理定位误差及事件状态总数（该分析仅包含报告至少 3 个不同站点的事件）

图 A.6a）及事件状态总数（见图 A.6b）的累积分布如图 A.6 所示。如预期，只有很小比例的事件（低于 40%）可以利用报告的 PD，这也表明与上报至少 3 个站点的事件相比，这种方法的精度更差。所以，这表明 PD 测量所带来的好处是有限的。

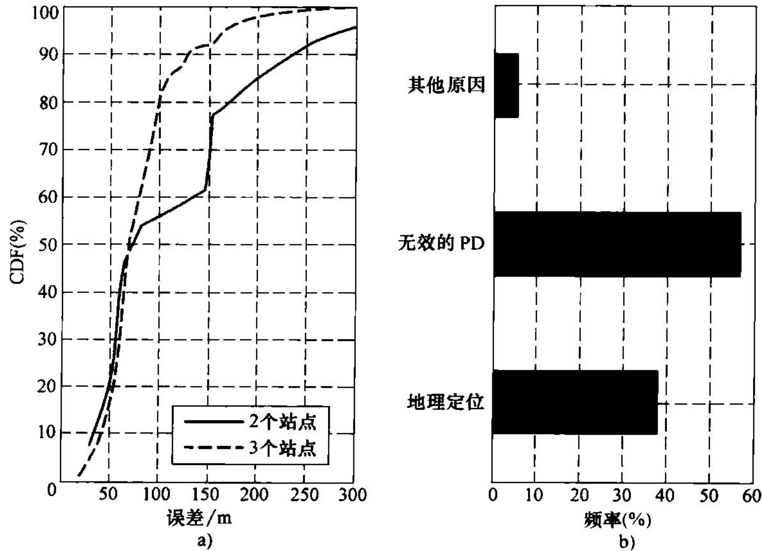


图 A.6　欧洲场景下的地理定位误差及事件状态总数（仅考虑两个站点的事件）

A. 6 小结

附录 A 评估了基于延时的地理定位算法，该算法展示了在两种不同 UMTS 实际网络中针对定位事件的精度和百分比两方面均较为有前景的结果[10]。65% ~ 80%的事件在中值误差小于 150m 的情况下进行了地理定位。该算法的性能在选定的美国场景下略差于分析的欧洲场景，原因是前者的每个事件明显包含更少的上报站点，并且此类事件的条件更差。在地理定位之前使用滤除机制是有利的，因为它准确地丢弃了更有可能被错误定位的事件。在研究中提到，有很长一段时间几乎没有 MR，这使得在这些区域的业务估计变得更加困难。最后，研究表明，不能直接被定位的包含两个站点的事件占有很大的比例。但是使用 PD 测量在一定限度内是有益的，这为改善使用方法留出了空间，例如 RSL 测量与上述技术相结合。

参考文献

[1] Deng, P. and Fan, P.Z. (2000) An AOA Assisted TOA Positioning System, *Proc. World Computer Congress – International Conference Communication-Technology*, August 2000.

[2] Cong, L. and Zhuang, W. (2002) Hybrid TDOA/AOA Mobile User Location for Wideband CDMA Cellular Systems, *IEEE Transaction on Wireless Communications*.

[3] McGuire, M., Plataniotis, K.N. and Venetsanopoulos, A.N. (2005) Data Fusion of Power and Time Measurements for Mobile Terminal Location, *IEEE Transactions on Mobile Computing*.

[4] Nájar, M., Cabrera, M. and Játiva, R. (2001) Kalman Tracking for UMTS Mobile Location, *IEEE 53rd Vehicular Technology Conference*, May 2001.

[5] Zaidi, Z.R. and Mark, B.L. (2005) Real-Time Mobility Tracking Algorithms for Cellular Networks Based on Kalman Filtering, *IEEE Transactions on Mobile Computing*.

[6] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010), Physical Layer; Measurements (FDD), 3GPP TS 25.215 Version 9.2.0, Release 9, 30 March 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/25_series/25.215/25215-920.zip (accessed 3 June 2011).

[7] Selçuk Bayin, S. (2006) *Mathematical Methods in Science and Engineering*, John Wiley & Sons, Inc., New York.

[8] Xu, G. (2007) *GPS: Theory, Algorithms, and Applications*, Springer, Heidelberg.

[9] Brunner, C. and Flore, D. (2009) Generation of Pathloss and Interference Maps as SON Enabler in Deployed UMTS Networks, *IEEE 69th Vehicular Technology Conference*, April 2009.

[10] Úbeda, C., Romero, J. and Ramiro, J. (2010) Evaluation of a Time-Delay based Geolocation Algorithm in Real UMTS Networks, *Fifth International Conference on Broadband and Biomedical Communications*, December 2010.

附录B　LTE[⊖]的X-map估计

Michaela Neuland、Mehdi Amirijoo和Thomas Kürner

B.1　简介

无线覆盖范围信息在网络规划、射频调整以及无线资源管理（RRM）参数优化中占有非常重要的地位。目前，运营商使用预测工具产生这个信息，这些工具基于提供地形和土地使用情况信息（如建筑物、自然区和道路）的地图以及调整的传播模型，但是这种方法并不完全准确。不完美的地理数据、简化和近似的传播模型以及由建筑施工/拆除或者季节性效应（树叶变化）引起的环境变化是造成该方法不准确的原因。此外，业务分布和用户配置文件的变化也会导致预测工具提供不准确的结果。所以，为了获得更多关于网络实际情况的信息和收集测量数据以校准使用的传播模型，必须进行严格的路测。路测提供在该区域终端用户感知的场景，而且能使运营商确定引起性能不佳的地点以及相应的原因（如不正确的倾斜或切换设置）。路测并不是理想的，因为花费太高、时间过长，并且由于访问限制只能覆盖网络有限的（室外）部分。另外，在时间上只够一次捕获该区域的情况。如果网络中的用户可以报告测量位置观察到的服务质量，路测所面临的困难就可以被解决。3GPP目前正在开展UE标准化工作[1]。这些UE报告可以被用来创建具有重叠覆盖性能信息的地理地图，被称为X-map，其中X代表不同类型的性能信息。例如，覆盖范围地图就是X-map的一个特例。UE报告处理由X-map的估测功能完成，该功能包括连续监测网络，估计网络空间性能特点（例如覆盖范围和吞吐量），将UE的测量映射成估计的地理位置。在LTE中建议使用3种不同的定位技术，即全球导航卫星系统（GNSS）的网络辅助版本，如全球定位系统（GPS）或Galileo卫星导航计划，观察到达时间差（OTDOA）和增强的小区标识（Cell-ID）定位方式[2]。除了测量数据，X-map的估测功能也使用其他的信息来源，如预测数据。X-map估测功能的优点是可以不需要进行严格的路测。这将显著降低运营商的网络维护成本，确保更快的优化循环以提高客户满意度，并提供无法进行路测的地区的测量数据，如狭窄的道路、森林、私人土地、房屋或办事处[1]。除了协助网络运营商观察网络性能，X-map中的信息也可作为网络自组织（SON）[3,4]不可分割的一部分，特别是在解决覆盖、容量和质量的优化问题时。

X-map的准确性取决于诸多因素，如应用的UE定位技术、UE的测量精度、

⊖ 附录B中提出的工作正在FP7 SOCRATES项目中实施，该项目由欧盟委员会提供部分资助。详情可以查看网站http：//www.fp7-socrates.eu/。

测量次数和网络架构。其中，定位技术对 X-map 整体的估测准确度有非常重要的影响。

B.2　X-map 的估测方法

X-map 估测方法的概述在图 B.1 中给出。UE 的定位测量单元（LMU）采集的数据主要包括：参考信号接收功率（RSRP）或参考信号接收质量（RSRQ）、位置信息数据以及网络中 UE 的相应时间。为了管理 LTE 中 UE 的定位，引进了演进服务移动定位中心（E-SMLC）[2]。根据网络条件和 UE/增强基站（eNodeB）的定位功能，该定位中心决定使用的定位方法，并综合所有收到的结果为 UE 确定一个位置估计。此外，它可以提供更多的信息，如位置估计的准确性或 UE 的速度。因此，E-SMLC 提供了满足 LMU 的所有重要的定位特性，而且可以为 X-map 的估测功能提供必要的数据。除了 LMU 外，另一种估测方法为 RAN 测量单元（RMU），它从 RAN 中收集测量数据（如干扰和负载），并利用这些数据去更好地估计网络状态。两个测量单位中与 UE 位置有关的测量数据被提供给 X-map 估测功能模块，它使用这些数据直接更新 X-map 中相应的数据库（方法 1）或更新传播模型（方法 2）。

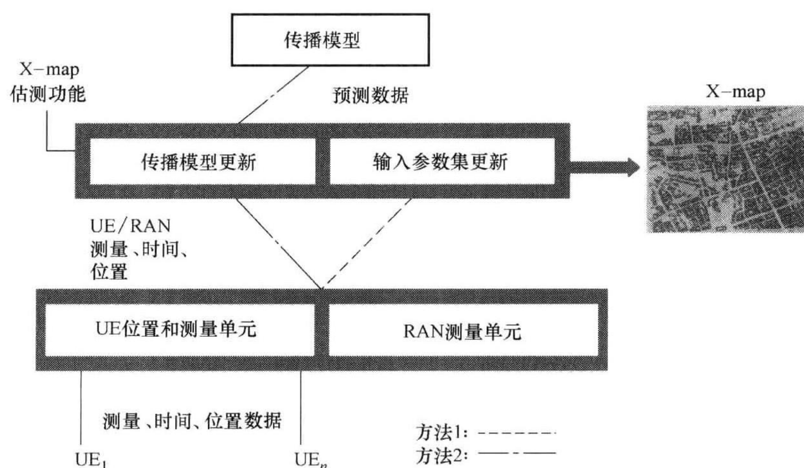


图 B.1　X-map 估测方式概述

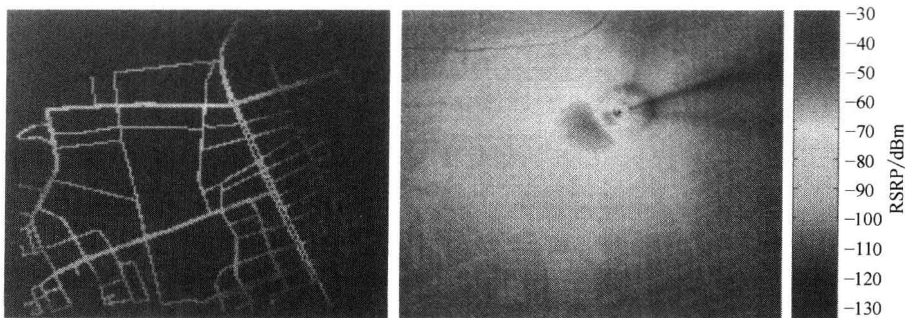
若携带 UE 位置估计信息的新的测量数据已知，则方法 1 可以利用这些信息来更新 UE 所在 X-map 中相应的数据库，类似于在参考文献［5，6］中提到的方法。更新机制有很多种，例如用最新的测量值取代数据库中的当前值或与之合并，如使用滤波器方式。在目前的仿真中，可以计算 X-map 中的平均值和 UE 上报收集时间间隔。在不能取得测量数据的区域（如没有被覆盖的地区），在 X-map 的相应部分是无法获得信息的。

在方法2中，通过提供的测量数据，适用相应eNodeB环境的传播模型产生的预测数据是X-map的基础。仿真时，使用Okumura-Hata模型[7]，并且根据收集的测量数据考虑地形类别计算了校正因子。这是参考文献［8］中提出的校准方案，参考文献［9］中也介绍了类似的方法。根据每个地形类别调整校正因子可以提高Okumura-Hata模型的准确性。

B.3　仿真结果

为了仿真上述两种方法，市区采用1.5km×1.5km的场景[10]。在这种场景下，在1000s的仿真时间内，20个用户沿着街道移动，并且每200ms向它们的服务基站发送测量报告。LTE系统的站点位置、扇区方向以及天线倾斜度都沿用现有的UMTS网络布局。对于这些站点，在2.6GHz时实际的路径损耗值都是可以预测的。这些预测值被用来确定30个信号最强小区内用户的位置。而且，通过比较X-map中RSRP的每个样本点与预测值相应的样本点，预测值可以作为决定X-map准确性（考虑平均误差和标准偏差）的参考。在仿真区域，陆地使用数据来自Open-StreetMap项目（http：//www.openstreetmap.org）免费提供的信息。有5种不同的地形类别，分别是建筑、自然区、水路、街道和铁路。此外，使用特定日期和时间的卫星轨道与光线追踪来决定该场景中每个用户位置可见卫星的数量。如果UE与卫星之间存在直传路径的话，就认为该卫星对于当前用户位置是可见的。采用参考文献［11］中描述的方法，可见卫星的数量信息、UE位置与卫星之间的几何信息以及测量误差的标准差信息可以用来建模定位误差。为了获得用户的估测位置，由仿真场景提供的实际位置需叠加上计算的定位误差。如果可见卫星少于4颗，例如在密集的市区，GPS定位是不可能实现的。这种情况应该使用其他的定位方法。

图B.2显示了一个特定站点的X-map的两个例子，其中，分辨率为10m×10m，RSRP单位为dBm。左侧是使用方法1产生的X-map，右侧是使用方法2产生的X-map。两张X-map中均使用由场景提供的真实位置。



图B.2　基于方法1（左）和方法2（右）的X-map

方法 1 的优点是，因为测量数据直接被用来产生 X-map，可以反映出网络的实际情况。但是，这种方法存在的缺陷是 X-map 仅能为在图 B.2 中（暗区代表没有 RSRP 值）可见的 UE 覆盖的样本点提供 RSRP 值。相比之下，使用方法 2 时，区域内的每个样本点都有一个 RSRP 值，即方法 2 的 X-map 的覆盖范围更大。但是，方法 2 的准确性低于方法 1，从表 B.1 中可以看出方法 2 的平均误差为 2.1dB，标准差为 6.6dB。注意，准确性是通过比较有 RSRP 值的每个像素与参考值确定的，即当确定基于方法 2 的 X-map 的准确性时，校准过程中不包含的像素也需要考虑。

方法 2 的准确性可以与目前宏蜂窝和微蜂窝小区使用校正传播模型达到的准确性相比。例如，对于参考文献［7］提出的模型，预测误差的平均标准差为 7～9dB，平均误差的绝对值范围一般为 0～6dB。对于相应的分析，慕尼黑市中心区域在 947MHz 频率处的建筑数据和测量数据是已知的[7]。

表 B.1　使用真实位置和 GPS 作为定位方式时产生的不同 X-map 的平均误差及标准差

	方法 1		方法 2	
	平均值	标准差	平均值	标准差
真实位置	0.0	0.2	2.1	6.6
位置估计	0.1	2.3	2.6	6.6

从表 B.1 中可以看出，方法 1 在很大程度上取决于应用的定位方法。方法 1 使用 GPS 而不是实际位置作为定位方式时，所产生的 X-map 的标准差增大了 2dB。相比之下，方法 2 对于使用的定位方式是不敏感的，标准差在使用实际位置或 GPS 估计的位置时是相同的。

参考文献

[1] 3GPP, Technical Report, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Study on Minimization of Drive-Tests in Next Generation Networks*, 3GPP TR 36.805 Version 9.0.0, Release 9, 5 January 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.805/36805-900.zip (accessed 3 June 2011).

[2] 3GPP, Technical Specification, Technical Specification Group Radio Access Network (2010) *Stage 2 Functional Specification of User Equipment (UE) positioning in E-UTRAN*", 3GPP TS 36.305 Version 9.2.0, Release 9, 28 April 2010, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.305/36305-920.zip (accessed 3 June 2011).

[3] 3GPP, Technical Report, Technical Specification Group Radio Access Network (2009) *Self-Configuring and Self-Optimizing Network Use Cases and Solutions*, 3GPP TR 36.902 Version 9.0.0, Release 9, 9 October 2009, http://www.3gpp.org/ftp/Specs/archive/36_series/36.902/36902-900.zip (accessed 3 June 2011).

[4] van den Berg, J.L., Litjens, R., Eisenblätter, A., Amirijoo, M., Linnell, O., Blondia, C., Kürner, T., Scully, N., Oszmianski, J. and Schmelz, L.C. (2008) Self-Organisation in Future Mobile Communication Networks, *Proc. ICT - Mobile Summit 2008*, Stockholm, Sweden, June 10–12 2008.

[5] Catovic, A. and Dills, J.F.M.M.K. (2009) *Apparatus and method for generating performance measurements in wireless networks*, Patent US 2009/0310501, issued December 2009.

[6] Brunner, C. and D. Flore, D. (2009) Generation of Pathloss and Interference Maps as SON Enabler in Deployed UMTS Networks, *Proc. IEEE 69th Vehicular Technology Conference (VTC 2009-Spring)*, pp. 1–5.

[7] COST 231 (1999) *Final Report* http://www.lx.it.pt/cost231/ (accessed 3 June 2011).
[8] Erik, A. and S. Holm, S. (2004) Tuning of Empirical Radio Propagation Models Effect of Location Accuracy, *Wireless Personal Communications*, **30**, pp. 267–281, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
[9] Clancy, J.G. (2003) *Clutter database enhancement methodology*, Patent US 6,580,911 B1, issued June 2003.
[10] SOCRATES Project (2009) Deliverable: *Review of use cases and framework II*, December 2009, http://www.fp7-socrates.eu (accessed 3 June 2011).
[11] Fritsche, C. and Klein, A. (2008) Cramér-Rao Lower Bounds for Hybrid Localization of Mobile Terminals, *Proc. 5th Workshop on Positioning, Navigation and Communication (WPNC '08)*, March 2008.

附录C　缩　略　语

缩略语	英文	中文
2G	2nd Generation	第二代移动通信
3G	3rd Generation	第三代移动通信
3GPP	Third Generation Partnership Project	第三代合作伙伴项目
3GPP2	Third Generation Partnership Project 2	第三代合作伙伴项目 2
4G	4th Generation	第四代移动通信
A/C	Air Conditioning	空调
AAC	Advance Audio Coding	高级音频编码
AAC-ELD	AAC Enhanced Low Delay	AAC 增强低延迟
AAC-LD	AAC Low Delay	AAC 低延迟
AC	Admission Control	接入控制
ACR	Adjacent Channel Rejection	邻道抑制
AFP	Automatic Frequency Planning	自动频率规划
aGW	access Gateway	入口网关
AINI	ATM Inter-Network Interface	网际网路 ATM 接口
AMR	Adaptive Multi-Rate	自适应多速率
AMR-NB	AMR Narrowband	AMR 窄带
AMR-WB	AMR Wideband	AMR 宽带
ANR	Automatic Neighbor Relation	自动邻区关系
AP	Access Point	接入点/访问点
API	Application Programming Interface	应用程序接口
ARFCN	Absolute Radio Frequency Channel Number	绝对射频信道号
ARP	Address Resolution Protocol	地址解析协议
ARPU	Average Revenue Per User	用户平均收益
AS	Active Set	激活集
ATC	Ancillary Terrestrial Component	辅助陆地部件
ATM	Asynchronous Transfer Mode	异步传输模式
AVC	Advance Video Coding	高级视频编码
AWS	Advanced Wireless Services	高级无线服务
BAL	BCCH Allocation List	BCCH 分配列表

（续）

缩略语	英文	中文
BCC	Base Station Color Code	基站色码
BCCH	Broadcast Control Channel	广播控制信道
BCH	Broadcast Channel	广播信道
BER	Bit Error Rate	误比特率
BLER	Block Error Rate	误块率
BSC	Base Station Controller	基站控制器
BSIC	Base Station Identity Code	基站识别码
BTS	Base Transceiver Station	基地收发台
BWA	Broadband Wireless Access	宽带无线接人
C/I	Carrier-to-Interference	载干比
CAGR	Compounded Annual Growth Rate	复合年增长率
CAPEX	Capital Expenditure	资本支出
CBS	Carrier Branded Services	运营商品牌服务
CCO	Capacity and Coverage Optimization	容量和覆盖优化
CDF	Cumulative Distribution Function	累积分布函数
CDMA	Code Division Multiple Access	码分多址
CDR	Charging Data Record	计费数据记录
CE	Channel Element	信道元素
CF	Cash Flow	现金流
CGI	Cell Global Identifier	小区全球标识
CLPC	Close-Loop Power Control	闭环功率控制
CM	Configuration Management	配置管理
CN	Core Network	核心网
COC	Cell Outage Compensation	小区中断补偿
COD	Cell Outage Detection	小区中断检测
COM	Cell Outage Management	小区中断控制
CPC	Continuous Packet Connectivity	持续分组连接
CPICH	Common Pilot Channel	公共导频信道
CPU	Central Processing Unit	中央处理单元
CQI	Channel Quality Indicator	信道质量标识
CRC	Cyclic Redundancy Check	循环冗余校验
CS	Circuit Switched	电路交换
CSFR	Call Setup Failure Rate	呼叫建立失败率
CSG	Closed Subscriber Group	闭群用户组

（续）

缩略语	英文	中文
CT	Call Traces	呼叫跟踪
CT	Core network and Terminals	核心网络和终端
CW	Continuous Wave	连续波
DCR	Dropped Call Rate	掉话率
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	动态主机配置协议
DL	Downlink	下行链路
DM	Domain Manager	域名管理
DNS	Domain Name System	域名解析系统
DO-B	EV-DO Revision B	EV-DO 版本 B
DO-C	EV-DO Revision C	EV-DO 版本 C
DRX	Discontinuous Reception	非连续接收
DSP	Digital Signal Processing	数字信号处理
DSS	Direct Sequence Spread Spectrum	直接序列扩展频谱
EBITDA	Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization	息税折旧摊销前利润
ECGI	Evolved Cell Global Identifier	演进小区全球标识
E-DCH	Enhanced Dedicated Channel	增强型专用信道
EDGE	Enhanced Data rates for GSM Evolution	GSM 增强数据速率演进
EFL	Effective Frequency Load	有效频率负载
EGPRS	Enhanced General Packet Radio Service	增强数据分组传输速率技术
EIGRP	Enhanced Interior Gateway Routing Protocol	增强型内部网关路由协议
EM	Element Manager	网元管理器
eNodeB	enhanced NodeB	演进型基站
ES	Energy Saving	节能
E-SMLC	Evolved Serving Mobile Location Centre	演进的服务移动定位中心
E-UTRA	Evolved Universal Terrestrial Radio Access	演进的 UMTS 地面无线接入
E-UTRAN	Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network	演进的 UMTS 地面无线接入网
EV-DO	Evolution Data Optimized	演进数据最优化
EVRC	Enhanced Variable Rate Codec	增强型变速率编解码
EVS	Enhance Voice Service	增强语音服务
FACH	Forward Access Channel	前向接入信道
FCC	Federal Communications Commission	美国联邦通信委员会
FDD	Frequency Division Duplex	频分双工

（续）

缩略语	英文	中文
FER	Frame Erasure Rate	误帧率
FFR	Full Frequency Reuse	全频率复用
FLV	Flash Video	流媒体格式
FM	Fault Management	故障管理
FPC	Fractional Power Control	部分功率控制
GB	Gigabyte	十亿字节
GERAN	GSM EDGE Radio Access Network	GSM 增强数据率演进无线接入网
GGSN	Gateway GPRS Serving Node	通用分组无线业务(GPRS)网关服务节点
GNSS	Global Navigation Satellite System	全球导航卫星系统
GoS	Grade of Service	业务等级
GPRS	General Packet Radio Service	通用分组无线业务
GPS	Global Positioning System	全球定位系统
GSM	Global System for Mobile Communications	全球移动通信系统
GUI	Graphical User Interface	图形用户界面
HCL	Hierarchical Cell Layout	分级单元布局
HDMI	High-Definition Multimedia Interface	高清多媒体接口
HFR	Hard Frequency Reuse	硬频率复用
HI	Health Indicator	健康指标
HII	High Interference Indicator	高干扰指示
HLS	HTTP Live Streaming	HTTP 直播流媒体
HO	HandOver	切换
HR	Half Rate	(语音变换编码单元)半速
HRPD	High Rate Packet Data	高速分组数据
HSDPA	High Speed Downlink Packet Access	高速下行分组接入
HSDPA +	High Speed Downlink Packet Access Evolution	演进式高速下行分组接入
HSN	Hopping Sequence Number	跳频序列号
HSPA	High Speed Packet Access	高速分组接入
HSPA +	High Speed Packet Access Evolution	演进式高速分组接入
HS-PDSCH	High Speed Physical Downlink Shared Channel	高速物理下行共享信道
HS-SCCH	High Speed Shared Control Channel	高速同步控制信道
HSUPA	High Speed Uplink Packet Access	高速上行分组接入
HTTP	Hyper Text Transfer Protocol	超文本传输协议
HEYC	High Efficiency Video Codec	高效视频编解码器

（续）

缩略语	英文	中文
HW	Hardware	硬件
IAF	IntrA-Frequency neighbor-related	同频邻区关系
IC	Interference Control	干扰控制
ICIC	Inter-Cell Interference Coordination	干扰协调
ID	Identity	身份
IEC	International Electrotechnical Comission	国际电工委员会
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers	国际电气与电子工程师学会
IEF	IntEr-Frequency neighbor-related	异频邻区关系
IGRP	Interior Gateway Routing Protocol	内部网关路由协议
IM	Interference Matrix	干扰矩阵
IMT-Advanced	International Mobile Telecommunications -Adv	国际电联移动通信标准
IoT	Interfrence-over-Thermal	干扰与热噪声比
IP	Internet Protocol	互联网协议
iRAT	inter-Radio Access Technology	无线接入技术间
ISG	Inter-system (to GSM) neighbor-related	系统间(与 GSM)邻区关系
ISL	Inter-system (to LTE) neighbor-related	系统间(与 LTE)邻区关系
ISM	Industrial, Scientific and Medical	工业、科学和医学
ISO	International Organization for Standarization	国际标准化组织
IT	Information Technology	信息技术
Itf-N	Northbound Interface	北向接口
ITU	International Telecommunications Union	国际电信联盟
ITU-T	ITU-Standarization	国际电信联盟远程通信标准化组
JCT-VC	Joint Collaborative Team on Video Coding	视频编码联合合作团队
KPI	Key Performance Indicator	关键性能指标
LAC	Location Area Code	位置区域码
LBO	Load Balance Optimization	负载均衡优化
LIPA	Local IP Access	本地 IP 访问
LLC	Link Layer Control	链路层控制
LMU	Location and Measurement Unit	定位测量单元
LOS	Line-of-Sight	视距
LTE	Long Term Evolution	长期演进
MAHO	Mobile Assisted Hand Over	移动辅助切换
MAIO	Mobile Allocation Index Offset	跳频序列偏移量

（续）

缩略语	英文	中文
MAL	Mobile Allocation List	移动分配列表
MC	Monte Carlo	蒙特卡洛
MCS	Modulation and Coding Scheme	调制编码方案
MDT	Minimization of Drive Tests	最小化路测
MGW	Media Gateway	媒体网关
MIB	Management Information Base	管理信息基本原则
MIMO	Multiple Input Multiple Output	多输入多输出
MLB	Mobility Load Balancing	移动负载均衡
mm	man month	每人每月
MME	Mobility Management Entity	移动性管理实体
MML	Man-Machine Language	人机语言
MMR	Mobile Measurement Recordings	移动测量报告
MMS	Multi-media Messaging Service	多媒体消息服务
MO	Managed Object	管理对象
MP3	MPEG-1 Layer-3	MPEG-1 压缩标准音频层面 3
MP4	MPEG-4 Part 14	使用 MPEG-4 的多媒体电脑档案格式
MPEG-4	Motion Picture Expert Group Layer-4 Video	动态图像专家组压缩标准视频层面 4
MR	Measurement Report	测量报告
MRO	Mobility Robustness Optimization	移动鲁棒性优化
MSC	Mobile Switching Centre	移动交换中心
MSS	Mobile Satellite Service	移动卫星服务
MS-SPRing	Multiplex Section-Shared Protection Ring	复用段共享保护环
NBP	National Broadband Plan	国家宽带计划
NE	Network Element	网元
NEM	Network Element Manager	网元管理
NGMN	Next Generation Mobile Networks	下一代移动网络
NII	National Information Infrastructure	国家信息架构
NLOS	Non-Line-Of-Sight	非视距
NM	Network Manager	网络管理
NMS	Network Management System	网络管理系统
NP-hard	Non-deterministic Polynomial-time hard	非确定性多项式时间复杂度
NPV	Net Present Value	净现值
NR	Neighbor Relation	邻区关系

（续）

缩略语	英文	中文
NRT	Neighbor Relation Table	邻区关系表
O&M	Operation And Maintenance	运行与维护
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing	正交频分复用
OFDMA	Orthogonal Frequency Division Multiple Access	正交频分多址
OI	Overload Indicator	过载指示
OIPF	Open IPTV Forum	开放 IPTV 论坛
OLPC	Outer-Loop Power Control	外环功率控制
OPEX	Operational Expenditure	营运成本
OS	Operations System	操作系统
OSPF	Open Shortest Path First	开放最短路径优先
OSS	Operations Support System	运营支撑系统
OTD	Observed Time Difference	观测时间差
OTDOA	Observed Time Difference Of Arrival	观察到达时间差
PCCPCH	Primary Common Control Physical Channel	主公共控制物理信道
PCG	Project Coordination Group	项目协调组
PCH	Paging Channel	寻呼信道
PCI	Physical Cell Identifier	物理小区标识
PCM	Pulse Code Modulation	脉冲编码调制
PCU	Packet Control Unit	分组控制单元
PD	Propagation Delay	传播时延
PDF	Probability Density Function	概率密度函数
PDH	Plesiochronous Digital Hierarchy	准同步数字体系
PDP	Packet Data Protocol	分组数据协议
PLMN	Public Land Mobile Network	公众陆地移动通信网
PM	Performance Management	性能管理
PNNI	Private Network-to-Network Interface	专用网端接口
PRACH	Physical Random Access Channel	物理随机接入信道
PRB	Physical Resource Block	物理资源块
PS	Packet Switched	分组交换
PSC	Primary Scrambling Code	主扰码
QAM	Quadrature Amplitude Modulation	正交幅度调制
QoS	Quality of Service	服务质量
R6	Release 6	版本 6

（续）

缩略语	英文	中文
R99	Release 99	版本 99
RAB	Radio Access Bearer	无线接入承载
RAC	Routing Area Code	路由选择区域码
RACH	Random Access Channel	随机接入信道
RAN	Radio Access Network	无线接入网络
RAS	Remote Azimuth Steering	远程方位角控制
RAT	Radio Access Technology	无线接入技术
RB	Resource Block	资源块
RET	Remote Electrical Tilt	远程电子下倾角
RF	Radio Frequency	射频
RLC	Radio Link Control	无线链路控制
RLF	Radio Link Failure	无线链路失败
RLS	Recursive Least Squares	递归最小二乘法
RMU	RAN Measurement Unit	RAN 测量单元
RNC	Radio Network Controller	无线网络控制器
RNTP	Relative Narrowband Transmit Power	相对窄带传输功率
ROI	Return On Investment	投资回报率
RRC	Radio Resource Control	无线资源控制
RRM	Radio Resource Management	无线资源管理
RS	Reference Signal	参考信号
RSCP	Received Signal Code Power	接收信号码功率
RSL	Received Signal Level	接收信号强度
RSRP	Reference Signal Received Power	参考信号接收功率
RSRQ	Reference Signal Received Quality	参考信号接收质量
RSSI	Received Signal Strength Indicator	接收信号强度指示
RTMP	Real Time Messaging Protocol	实时消息传递协议
RTP	Real-time Transport Protocol	实时传输协议
RTSP	Real Time Streaming Protocol	实时流媒体协议
RxLev	Received signal Level	接收信号强度
RxQual	Received signal Quality	接收信号质量
SA	Service and system Aspects	系统和业务方面
SA	Simulated Annealing	模拟退火
SACCH	Slow Associated Control Channel	慢速联合控制信道

（续）

缩略语	英文	中文
SAE	System Architecture Evolution	系统架构演进
SC	Scrambling Code	扰码
SC-FDMA	Single Carrier Frequency Division Multiple Access	单载波频分多址
SNCP	Subnetwork Connection Protection	子网连接保护
SDCCH	Standalone Dedicated Control Channel	独立专用控制信道
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	同步数字体系
SeNB	Source eNodeB	源基站
SFR	Soft Frequency Reuse	软频率复用
SGSN	Service GPRS Serving Node	GPRS 业务服务节点
S-GW	Serving Gateway	服务网关
SHO	Soft HandOver	软切换
SIB	System Information Block	系统信息块
SINR	Signal to Interference-plus-Noise Ratio	信干噪比
SIR	Signal-to-Interference-Ratio	信干比
SMS	Short Message Service	短消息服务
SMSC	SMS Center	短消息服务中心
SNR	Signal to Noise Ratio	信噪比
SON	Self-Organizing Networks	网络自组织
SONET	Synchronous Optical Network	同步光纤网
SS7	Signalling System #7	7 号信令系统
SSC	Secondary Synchronization Codes	辅同步码
S-SCH	Secondary Synchronization Channel	辅同步信道
STP	Signaling Transfer Point	信号传输点
SW	Software	软件
TA	Timing Advance	定时超前
TAC	Tracking Area Code	跟踪区代码
TCH	Traffic Channel	业务信道
TCI	Target Cell Identifier	目标小区标识
TDD	Time Division Duplex	时分双工
TDMA	Time Division Multiple Access	时分多址接入
TeNB	Target eNodeB	目标基站
TM	TeleManagement	远程管理
TNL	Transport Network Layer	传输网络层

（续）

缩略语	英文	中文
TRX	Transceiver	收发器
TS	Troubleshooting	故障排除
TSG	Technical Specification Group	技术规范组
TTI	Transmission Time Interval	传输时间间隔
TVWS	Television White Space	电视空白频段
UARFCN	UTRA Absolute Radio Frequency Channel Number	UTRA 绝对射频信道号
UDP	User Datagram Protocol	用户数据协议
UE	User Equipment	用户设备
UICC	Universal Integrated Circuit Card	通用集成电路卡片
UL	Uplink	上行链路
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System	通用移动电信系统
UTRA	Universal Terrestrial Radio Access	通用陆地无线接入
UTRAN	Universal Terrestrial Radio Access Network	通用陆地无线接入网络
VBR	Variable Bit Rate	可变比特速度
VCEG	Video Coding Experts Group	视频编码专家组
VIP	Very Important Person	贵宾
VLAN	Virtual Local Area Network	虚拟局域网
VoIP	Voice over IP	IP 电话
WAN	Wide Area Network	广域网
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access	宽带码分多址
WCS	Wireless Communications Service	无线通信服务
WEP	Wired Equivalent Privacy	有线等效加密
WG	Working Group	工作组
WI	Work Item	工作条目
WiFi	Wireless Fidelity	无线保真
WiMAX	Worldwide Interoperability for Microwave Access	全球微波互联接入
WISPr	Wireless Internet Service Provider roaming	无线互联网漫游服务
WLAN	Wireless Local Area Network	无线局域网
WMA	Windows Media Audio	Windows 媒体播放器/音频
WPA	Wi-Fi Protected Access	Wi -Fi 保护通道
WPA2	Wi-Fi Protected Access 2	Wi -Fi 保护通道 2
WVGA	Wide Video Graphics Array	宽视频图形阵列
XML	eXtensible Markup Language	可扩展标记语言

读者需求调查表

亲爱的读者朋友：

您好！为了提升我们图书出版工作的有效性，为您提供更好的图书产品和服务，我们进行此次关于读者需求的调研活动，恳请您在百忙之中予以协助，留下您宝贵的意见与建议！

个人信息

姓名：		出生年月：		学历：	
联系电话：		手机：		E-mail：	
工作单位：				职务：	
通讯地址：				邮编：	

1. 您感兴趣的科技类图书有哪些？

□自动化技术 □电工技术 □电力技术 □电子技术 □仪器仪表 □建筑电气

□其他（　　）以上各大类中您最关心的细分技术（如 PLC）是：（　　　）

2. 您关注的图书类型有

□技术手册 □产品手册 □基础入门 □产品应用 □产品设计 □维修维护

□技能培训 □技能技巧 □识图读图 □技术原理 □实操 □应用软件

□其他（　　）

3. 您最喜欢的图书叙述形式

□问答型 □论述型 □实例型 □图文对照 □图表 □其他（　　）

4. 您最喜欢的图书开本

□口袋本 □32 开 □B5 □16 开 □图册 □其他（　　）

5. 图书信息获得渠道：

□图书征订单 □图书目录 □书店查询 □书店广告 □网络书店 □专业网站

□专业杂专 □专业报纸 □专业会议 □朋友介绍 □其他（　　）

6. 购书途径

□书店 □网络 □出版社 □单位集中采购 □其他（　　）

7. 您认为图书的合理价位是（元/册）：

手册（　　）图册（　　）技术应用（　　）技能培训（　　）基础入门（　　）其他（　　）

8. 每年购书费用

□100 元以下 □101～200 元 □201～300 元 □300 元以上

9. 您是否有本专业的写作计划？

□否 □是（具体情况：　　　）

非常感谢您对我们的支持，如果您还有什么问题欢迎和我们联系沟通！

地址：北京市西城区百万庄大街 22 号 机械工业出版社电工电子分社 邮编：100037

联系人：张俊红 联系电话：13520543780 传真：010-68326336

电子邮箱：buptzjh@163.com（可来信索取本表电子版）

编著图书推荐表

<table>
<tr><td>姓名：</td><td></td><td>出生年月：</td><td></td><td>职称/职务：</td><td></td><td>专业：</td><td></td></tr>
<tr><td>单位</td><td colspan="3"></td><td>E-mail：</td><td colspan="3"></td></tr>
<tr><td>通讯地址：</td><td colspan="5"></td><td>邮政编码：</td><td></td></tr>
<tr><td>联系电话：</td><td colspan="2"></td><td colspan="3">研究方向及教学科目：</td><td colspan="2"></td></tr>
<tr><td colspan="8">人个简历(毕业院校、专业、从事过的以及正在从事的项目、发表过的论文)</td></tr>
<tr><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td colspan="8">您近期的写作计划有：</td></tr>
<tr><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td colspan="8">您推荐的国外原版图书有：</td></tr>
<tr><td colspan="8"></td></tr>
<tr><td colspan="8">您认为目前市场上最缺乏的图书及类型有：</td></tr>
<tr><td colspan="8"></td></tr>
</table>

地址：北京市西城区百万庄大街22号　机械工业出版社，电工电子分社
邮编：100037　网址：www. cmpbook. com
联系人：张俊红　电话：13520543780　010-68326336（传真）
E-mail：buptzjh@163. com（可来信索取本表电子版）



国际视野　科技前沿

国际信息工程先进技术译丛

《自组织网络：GSM，UMTS和LTS的自规划、自优化和自愈合》
《LTE自组织网络(SON)：网络管理自动化提升运维效率》
《UMTS中的LTE：向LTE-Advanced演进》（原书第2版）
《微光学和纳米光学制造技术》
《RFID与传感器网络：架构、协议、安全与集成》
《信号统计分析方法 —— 生物医学和电气工程应用指南》（原书第3版）
《数值方法在生物医学工程中的应用》
《医疗电子仪器的设计与开发》
《第三代移动网络中的多播通信：服务、机制、性能》
《电力线通信技术与实践》
《现代通信原理》（原书第2版）
《认知无线电网络》
《高速数字系统的信号完整性和辐射发射》
《UMTS中的LTE：基于OFDMA和SC-FDMA的无线接入》
《全面的功能验证：完整的工业流程》
《无线Mesh网络架构与协议》
《UMTS蜂窝系统的QoS与QoE管理》
《半导体制造与过程控制基础》
《WCDWA原理与开发设计》
《下一代移动系统：3G/B3G》
《IMS:IP多媒体概念和服务》（原书第2版）
《下一代无线系统与网络》
《深入浅出UMTS无线网络建模、规划与自动优化：理论与实践》
《HSDPA/HSUPA技术与系统设计——第三代移动通信系统宽带无线接入》
《无线传感器及元器件：网络、设计与应用》
《印制电路板——设计、制造、装配与测试》
《IPTV与网络视频：拓展广播电视的应用范围》
《多电压CMOS电路设计》
《微电子技术原理、设计与应用》
《蜂窝网络高级规划与优化2G/2.5G/3G/…向4G的演进》
《基于蜂窝系统的IMS——融合电信领域的VoIP演进》
《无线网络中的合作原理与应用》
《移动电视：DVB-H、DMB、3G系统和富媒体应用》
《环境网络：支持下一代无线业务的多域协同网络》
《基于射频工程的UMTS空中接口设计与网络运行》
《未来UMTS的体系结构与业务平台：全IP的3G CDMA网络》
《UMTS-HSDPA系统的TCP性能》
《宽带无线通信中的空时编码》
《数字图像处理》（原书第4版）
《基于4G系统的移动服务技术》
《吉规模集成电路互连工艺及设计》
《高性能微处理器电路设计》



WILEY
www.wiley.com

上架指导　工业技术／电子技术／信息通信



ISBN 978-7-111-40347-0　定价：78.00元